



# THÈSE

En vue de l'obtention du

**DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE TOULOUSE**

Délivré par : *l'Université Toulouse 3 Paul Sabatier (UT3 Paul Sabatier)*

---

---

Présentée et soutenue le 30/03/2018 par :

**SAMEH TRIKI**

**Système Multi-Agent Ambiant  
pour faciliter l'autonomie et l'accessibilité aux espaces publics  
des personnes ayant des déficiences cognitives**

---

---

## JURY

BERNARD ARCHIMEDE	Professeur, École Nationale d'Ingénieurs de Tarbes	Rapporteur
HENDA BEN GHEZALA	Professeur, École nationale des sciences de l'informatique de Tunis	Rapporteuse
BERNARD ESPINASSE	Professeur, Aix-Marseille Université, Polytech-Marseille	Examinateur
MARIE-PIERRE GLEIZES	Professeur, Université Toulouse 3 Paul Sabatier	Examinatrice
CHIHAB HANACHI	Professeur, Université Toulouse 1 Capitole	Directeur de thèse
MICHEL OCCELLO	Professeur, Université Grenoble Alpes, IUT de Valence	Rapporteur
ALICE ROUYER	Maître de conférences, Université Toulouse 2 Jean Jaurès	Invitée

---

**École doctorale et spécialité :**

*MITT : Domaine STIC : Intelligence Artificielle*

**Unité de Recherche :**

*Institut de Recherche en Informatique de Toulouse (UMR 5505)*

**Directeur de Thèse :**

*Chihab HANACHI*

**Rapporteurs :**

*Bernard ARCHIMEDE, Henda BEN GHEZALA et Michel OCCELLO*



**Sameh Triki**

**Système Multi-Agent Ambiant pour faciliter  
l'autonomie et l'accessibilité aux espaces publics  
des personnes ayant des déficiences cognitives**

Directeur : Chihab Hanachi, Professeur HDR, UT1

---

**Résumé**

---

Cette thèse porte sur la conception de systèmes multi-agents ambiants pour faciliter l'autonomie et l'accessibilité aux espaces publics, en particulier aux personnes âgées. Le vieillissement de la population et l'accroissement des situations de handicap liées à la progression en âge, appellent une approche nouvelle de l'accessibilité des espaces publics urbains. Actuellement, certaines difficultés, à l'exemple des déficiences cognitives légères (notamment amnésiques), rendent ardues l'accès à la ville des personnes âgées concernées et favorisent leur (auto) confinement à domicile. Dans ce contexte, cette thèse propose la conception d'un dispositif outillé d'assistance aux personnes âgées dans leurs activités quotidiennes à l'extérieur. Pour permettre son acceptabilité, ce dispositif d'assistance ambiant s'appuie sur une démarche de conception interdisciplinaire et collaborative. La complexité de ce travail réside dans la prise en compte, la compréhension et la modélisation des différents points de vue sociotechniques corrélés (organisationnel, collaboratif et technique) et de l'environnement ouvert et évolutif auquel le dispositif doit s'adapter. Un prototype a été réalisé et il offre les services suivants par apprentissage :

1. L'assistance en temps réel aux activités quotidiennes : consiste à pouvoir consulter son planning, ajouter des activités à son planning ou envoyer une alerte à la demande. Le système peut en situations caractérisées, rappeler le but, situer le sujet dans le programme d'activité entamé ou retisser le fil des étapes ;
2. La surveillance et l'analyse de « déviation » : consiste à détecter des anomalies dans le comportement, afin d'aider à notifier des alertes ou au contraire à identifier des bonnes pratiques à enregistrer ;
3. La découverte de processus routiniers : s'agit d'identifier des processus récurrents ou évolutifs susceptibles d'être formalisés comme de nouvelles bonnes pratiques en s'appuyant sur une analyse des actions réalisées.

---

**Institut de Recherche en Informatique de Toulouse - UMR 5505**  
*Université Paul Sabatier, 118 route de Narbonne, 31062 TOULOUSE cedex 4*



**Sameh Triki**

**A multi-agent ambient system  
to improve autonomy and public spaces' accessibility  
for persons with cognitive disabilities**

Supervisor : Chihab Hanachi, Professeur HDR, UT1

---

**Abstract**

---

The purpose of my thesis is to design and develop an ambient multi-agent system for seniors to increase their autonomy and their accessibility to public spaces in order to help them in their daily outdoor activities. The aging of the population and the increase of disability situations linked to age, call for a new approach to the accessibility of urban public spaces. Some difficulties, such as seniors' cognitive deficiency (particularly amnesia), make the independent access to the city difficult and unfortunately encourage their (self) confining at home. Giving these observations, the aim of this thesis is to provide a personalized adaptive assisting system for elderly. This ambient sociotechnical system is based on an interdisciplinary and collaborative design approach in order to ensure its acceptability and to design a socially-adapted device that will be useful to improve seniors' life. The complexity of this work lies in the consideration, understanding and modeling of various sociotechnical correlated points of view (organizational, collaborative and technical). Moreover, the system should take into account the openness and the evolution of the environment to which the device should adapt. A prototype, made to ease seniors' autonomy in the city, is designed to offer the following services thanks to learning :

1. Assistance in daily external activities : consists in being able, on demand or in certain situations, to recall the goal, to retrace the thread of the actions and to suggest in a personalized way the associated itinerary.
2. Monitoring and analysis of the user's activities : detecting deviance/similarity between the planned process and the achieved one to identify unusual situations and act accordingly (notifications, alerts or recommendations).
3. Discovery of routine processes : the system is able to identify recurrent processes that could be formalized as new good practices based on an analysis of performed autonomous actions.

---

**IRIT laboratory Toulouse- UMR 5505**

*Paul Sabatier University, 118 route de Narbonne, 31062 TOULOUSE cedex 4*



## Remerciements

Je tiens tout d’abord à remercier **la région Occitanie** (anciennement Midi-Pyrénées) et l’équipe **Systèmes Multi-Agents Coopératifs (SMAC)** du laboratoire Institut de Recherche en Informatique de Toulouse (IRIT) pour leur co-financement de cette thèse.

Je remercie également les membres du Jury pour l’honneur qu’ils m’ont fait de s’intéresser à ce travail et d’avoir accepté de l’évaluer, et plus précisément :

- Madame Henda BEN GHZEALA, Monsieur Bernard ARCHIMEDE et Monsieur Michel Ocello pour avoir rapporté sur ma thèse,
- Monsieur Bernard ESPINASSE, Madame Marie Pierre GLEIZES et Madame Alice ROUYER d’avoir accepté de participer au jury,
- Monsieur Chihab HANACHI mon directeur de thèse pour sa confiance, sa présence, sa patience, sa rigueur scientifique et son encadrement judicieux. Merci de m’avoir soutenue dans les situations difficiles et merci pour tout les conseils et l’aide tout au long de cette thèse. Sans votre encouragement et votre soutien, je n’aurais jamais pu finir cette thèse.

Je tiens aussi à remercier Madame Alice ROUYER pour les échanges enrichissants, les forums et les séminaires intéressants qu’on a pu partager surtout au début de cette thèse. Grâce à vous, j’ai découvert une nouvelle discipline et je peux même dire que j’ai acquis une pseudo-expertise en sociologie du vieillissement. Je remercie également Pierre GLIZE et Marie-Pierre GLEIZES pour leur conseils sur les AMAS et leur encadrement.

Je remercie ma famille et mes amis pour tout le support qu’ils m’ont apporté tout au long de ce travail de recherche.

Je remercie également toutes les personnes que j’ai rencontrées et qui ont contribué à l’accomplissement de ce travail.





---

# Table des matières

<b>INTRODUCTION GÉNÉRALE</b>	<b>5</b>
Contexte et Motivation . . . . .	7
Etat de l'existant et problématique . . . . .	8
Approche retenue . . . . .	10
Contributions . . . . .	12
Plan du manuscrit . . . . .	15
 <b>I ÉTAT DE L'ART</b>	 <b>17</b>
<b>1 Conception centrée utilisateur et multidisciplinaire pour les personnes âgées</b>	<b>19</b>
1.1 Introduction . . . . .	19
1.2 La conception centrée utilisateur . . . . .	20
1.2.1 L'utilisabilité comme critère de qualité de haut niveau . . . . .	20
1.2.2 Les principes de la conception centrée utilisateur . . . . .	22
1.3 Les différentes approches de conception centrée utilisateur . . . . .	23
1.3.1 Classification des approches de conception centrée utilisateur . . . . .	23
1.3.2 Les différentes approches orienté utilisateur utilisées pour des systèmes ciblant les personnes âgées . . . . .	27
1.4 Les techniques utilisées pour la conception orientée utilisateurs . . . . .	29
1.4.1 Les observations . . . . .	30
1.4.2 Les groupes de discussion . . . . .	31

1.4.3	Les questionnaires . . . . .	31
1.4.4	Les Personas . . . . .	32
1.4.5	Les scénarios . . . . .	32
1.4.6	Le maquettage et prototypage . . . . .	34
1.5	Quelle approche de conception centrée utilisateur pour un système d'assistance aux personnes âgées ? . . . . .	35
1.5.1	Exigences du système à concevoir . . . . .	35
1.5.2	Exigences à prendre en compte dans le choix de l'approche de C.C.U . . . . .	36
1.5.2.1	Différents points de vue à prendre en compte . . . . .	36
1.5.2.2	Critères des approches de conception à prendre en compte . . . . .	36
1.6	Conclusion . . . . .	38
<b>2</b>	<b>Systèmes d'assistance ambiants intelligents</b>	<b>39</b>
2.1	Introduction . . . . .	39
2.2	Systèmes Intelligents ambiants . . . . .	39
2.2.1	Historique et définition des SIA . . . . .	39
2.2.2	Les systèmes ambiants d'assistance . . . . .	41
2.2.3	Les critères de différenciation des systèmes intelligents ambiants . . . . .	42
2.3	L'apport de l'intelligence artificielle pour les SIA . . . . .	43
2.3.1	Intérêt des Systèmes multi-agent . . . . .	43
2.3.1.1	Faire coopérer des entités distribués . . . . .	43
2.3.1.2	Doter les entités de capacités de raisonnement et d'aptitudes sociales . . . . .	44
2.3.1.3	L'architecture BDI comme architecture de référence des agents cognitifs . . . . .	45
2.3.2	L'apport de l'apprentissage artificiel pour l'intelligence ambiante . . . . .	47
2.3.2.1	Apprentissage supervisé . . . . .	48
2.3.2.2	Apprentissage non supervisé . . . . .	48
2.3.2.3	Apprentissage par renforcement . . . . .	49
2.3.2.4	Quel type d'apprentissage pour le SIA ? . . . . .	50
2.4	Les Systèmes Ambiants d'assistance actuels . . . . .	50
2.4.1	Aperçu des fonctions de quelques systèmes ambiants d'assistance . . . . .	51

2.4.2	Tableau comparatif de quelques systèmes existants . . . . .	59
2.5	Conclusion . . . . .	61
<b>II</b>	<b>CONTRIBUTIONS</b>	<b>63</b>
<b>3</b>	<b>L'approche de conception centrée utilisateur à base de scénarios proposée</b>	<b>65</b>
3.1	Introduction . . . . .	65
3.2	Vue globale de notre approche de Conception Centrée Utilisateur . . . . .	66
3.2.1	La philosophie de conception . . . . .	67
3.2.2	Les techniques centrés utilisateurs . . . . .	68
3.2.2.1	L'utilisation des FORUMS . . . . .	68
3.2.2.2	L'utilisation des Scénarios . . . . .	69
3.3	Le cycle de vie de notre approche . . . . .	69
3.4	Les scénarios : Atout de notre approche . . . . .	71
3.4.1	Utilité . . . . .	71
3.4.2	Exemples de scénarios . . . . .	71
3.4.3	Modèle conceptuel de scénario . . . . .	74
3.4.4	Le cycle de vie des scénarios . . . . .	76
3.4.4.1	La génération des scénarios . . . . .	76
3.4.4.2	Détection du comportement centralisé du système par synthèse de scénarios . . . . .	78
3.5	Conclusion . . . . .	81
<b>4</b>	<b>Conception du système multi-agent adaptatif ambiant d'assistance SADIKIKOI</b>	<b>83</b>
4.1	Introduction . . . . .	83
4.2	Vue globale de la conception multi-agent . . . . .	84
4.2.1	Modèle Voyelle de SADIKIKOI . . . . .	84
4.2.2	Principe de l'apprentissage de SADIKIKOI . . . . .	85
4.3	Spécification de SADIKIKOI . . . . .	86
4.4	Modèle Organisationnel . . . . .	88

4.5	Modèle Environnement . . . . .	89
4.6	Modèle Agent . . . . .	90
4.6.1	Vue globale du modèle agents . . . . .	90
4.6.2	Agents réactifs . . . . .	91
4.6.3	Agents cognitifs . . . . .	92
4.6.4	Vue détaillée de l'agent Contexte : clé de l'auto-adaptation . . . . .	94
4.6.4.1	Structure de l'agent contexte : agent BDI . . . . .	95
4.6.4.2	Les croyances de l'agent contexte . . . . .	96
4.6.4.3	Les désirs de l'agent contexte : la coopération selon le modèle des AMAS . . . . .	96
4.6.4.4	Les intentions de l'agent contexte : la résolution des situations de non-coopération . . . . .	97
4.7	Modèle Interaction . . . . .	97
4.7.1	Vision globale de l'interaction . . . . .	97
4.7.2	Les situations de non-coopération (SNCs) . . . . .	98
4.7.3	Interaction entre les agents : Apprentissage selon les AMAS . . . . .	99
4.8	Conclusion . . . . .	103
<b>5</b>	<b>Mise en œuvre et évaluation du prototype SADIKIKOI</b>	<b>105</b>
5.1	Vue générale du système . . . . .	105
5.2	Evaluation de l'acceptabilité de SADIKIKOI . . . . .	107
5.3	Evaluation de la capacité d'adaptation de notre système multi-agent : SADIKIKOI . . . . .	109
5.3.1	Générateur de scénarios . . . . .	110
5.3.2	Apprentissage de SADIKIKOI . . . . .	111
5.3.2.1	Jeu de tests A : des scénarios répétitifs . . . . .	113
5.3.2.2	Jeu de tests B : des scénarios aléatoires . . . . .	115
5.4	Discussion . . . . .	119
	<b>CONCLUSION GÉNÉRALE</b>	<b>121</b>
	Bilan . . . . .	123
	Perspectives . . . . .	125





---

# Table des figures

1	Différentes vues d'un scénario [Rolland <i>et al.</i> , 1998] . . . . .	13
1.1	L'utilisabilité dans la conception centrée utilisateur selon la norme ISO 9241-11 [ISO, 1998] . . . . .	21
1.2	Modèle de l'acceptabilité de Nielssen [Nielsen et Phillips, 1993] . . . . .	22
1.3	Topographie des recherches en conception (Figure extraite de [B.-N. Sanders, 2006]) . . . . .	24
1.4	Classification de Muller (Figure extraite de [Muller, 2003]) . . . . .	25
1.5	Différentes méthodes et pratique de conception centrée-utilisateur (Figure extraite de [Steen <i>et al.</i> , 2007]) . . . . .	26
1.6	Positionnement des approches emphatiques, contextuelles et participatives par rapport aux classifications étudiées . . . . .	27
1.7	Typologie de scénarios [Börjeson <i>et al.</i> , 2006] . . . . .	33
1.8	Différentes vues d'un scénario [Rolland <i>et al.</i> , 1998] . . . . .	34
1.9	Maison de poupée interactive (Figure extraite de [Kanis <i>et al.</i> , 2013]) . . .	35
2.1	Architecture BDI d'un agent (Figure extraite de [Kinny <i>et al.</i> , 1996]) . . .	46
2.2	Les composantes du système Wealthy (Figure extraite de [Fudickar <i>et al.</i> , 2011]) . . . . .	52
2.3	La canne intelligente (Figure extraite de [Wu <i>et al.</i> , 2008]) . . . . .	54
2.4	Interface de Fosible (Figure extraite de [Alaoui <i>et al.</i> , 2014]) . . . . .	56
3.1	Les composants de notre approche . . . . .	66
3.2	Cycle de vie de notre approche . . . . .	70
3.3	Modèle de scénario en BPMN . . . . .	73

3.4	Méta-modèle de scénarios . . . . .	75
3.5	La structure du scénario définie par le générateur . . . . .	77
3.6	Exemple du fonctionnement du générateur de scénarios . . . . .	78
3.7	Représentation d'un comportement complexe du système par un réseau de Petri des scénarios . . . . .	79
3.8	Représentation du comportement du système par un réseau de Petri des scénarios . . . . .	79
3.9	Le sociogram des exemples de scénarios . . . . .	81
4.1	Approche de conception SADIKIKOI . . . . .	84
4.2	Modèle Voyelle du prototype SADIKIKOI . . . . .	85
4.3	Le diagramme de cas d'utilisation de SADIKIKOI . . . . .	88
4.4	Architecture du système . . . . .	88
4.5	Modèle Organisation : structure de chaque module du système . . . . .	89
4.6	Modèle Environnement . . . . .	90
4.7	Modèle Agents . . . . .	91
4.8	Diagramme d'activité de l'agent gestionnaire de situation . . . . .	92
4.9	La structure de l'agent contexte . . . . .	95
4.10	L'intervalle de validité d'une perception (latitude GPS) d'un agent contexte . . . . .	96
4.11	Diagramme de séquences des différentes interactions des agents au démar- rage du système . . . . .	98
5.1	Interface graphique SADIKIKOI . . . . .	106
5.2	Hiérarchie des menus de SADIKIKOI . . . . .	107
5.3	Modèle de l'acceptabilité de Nielsen [Nielsen et Phillips, 1993] . . . . .	108
5.4	Générateur de scénarios : phase de paramétrage . . . . .	110
5.5	L'interface du générateur de scénarios : représentation d'un jour de scénarios	111
5.6	Différents composants de l'environnement virtuel et de notre système . . .	112
5.7	Diagramme d'évolution des agents contexte, de l'apprentissage et du temps d'exécution du jeu de tests A . . . . .	113
5.8	Mesure de l'efficacité pour le jeu de tests A . . . . .	115



5.9	Diagramme d'évolution des agents contexte, de l'apprentissage et du temps d'exécution pour le jeu de tests B . . . . .	116
5.10	Diagramme des variations (True Positive, True Negative, False Positive False Négative) pour le jeu de tests B . . . . .	117
5.11	Les courbes de d'efficacité du jeu de tests B . . . . .	118



---

# **INTRODUCTION GÉNÉRALE**



---

# Introduction Générale

Cette thèse vise à concevoir et développer un dispositif d'assistance aux personnes âgées ayant des déficiences cognitives. Il a pour objectif de leur faciliter la mobilité en ville et de les assister à la réalisation de tâches quotidiennes qu'ils ont définies. Ce dispositif devra aussi s'adapter à l'environnement géographique et au contexte de la vie sociale de son usager tout en respectant son intimité. Il s'agira de concevoir un système sociotechnique ambiant en s'appuyant sur une démarche interdisciplinaire et collaborative.

Cette thèse a été menée dans le cadre du projet intitulé « Compagnon », et a été co-financée par la région Occitanie et l'équipe SMAC (Systèmes Multi-Agents Coopératifs) de l'Institut de Recherche en Informatique de Toulouse (IRIT). Il a fait l'objet d'une collaboration étroite entre l'IRIT et le laboratoire LISST de l'université Jean-Jaurès (Laboratoire Interdisciplinaire Solidarités, Sociétés, Territoires). Ce dernier a apporté son expertise en sociologie du vieillissement et de la santé et en conception de dispositifs de prise en charge de personnes âgées.

Cette introduction présente en premier lieu l'intérêt de l'intelligence ambiante pour l'assistance aux personnes âgées. Elle définit ensuite notre problématique de recherche, résume l'insuffisance des travaux existants, expose l'approche proposée et nos contributions, et se termine par l'organisation de ce manuscrit.

## Contexte et Motivation

D'un point de vue sociétal, de nombreuses études conduites en France et dans le monde montrent le vieillissement de la population et, en conséquence, l'accroissement de situations de fragilité et de dépendance liées à la progression en âge. En effet, selon le rapport des Nations Unis publié en 2015 sur le vieillissement de la population mondiale, il est estimé que d'ici 2050, il y aura davantage de personnes âgées de 60 ans et plus que de jeunes âgés de 10 à 24 ans (2,1 milliards contre 2,0 milliards)

[of Economic et Division, 2013]. En 2016, selon l'enquête réalisée par la Fondation de France dans son rapport sur les solitudes "un Français sur dix est en situation objective d'isolement" [Fondation de France, 2014]. Concernant les personnes âgées, certaines difficultés, à l'exemple des déficiences cognitives légères (notamment l'amnésie), rendent l'accès à la ville ardu et favorisent leur (auto) confinement à domicile. Aussi de nombreux efforts sont déployés pour permettre à ces personnes en situation d'isolement d'être accompagnées pour pouvoir saisir l'opportunité de créer des liens sociaux et avoir une vie sociale enrichie. Comme le conclut ce dernier rapport, cette approche ne sera possible que si l'on arrive à "restaurer l'envie et la capacité à entreprendre et faire soi-même avec et pour les autres" [Fondation de France, 2014]. Il s'agit donc de fournir aux personnes âgées des outils qui les aident et les poussent à sortir sans avoir peur (notamment de se perdre ou de tomber...) tout en étant autonomes.

D'un point de vue technologique, on constate une évolution favorable d'outils et de concepts issus du numérique. Les systèmes ambiants offrent la possibilité d'utiliser des outils de taille réduite (téléphone, canne...), mobiles, en interaction avec leur environnement par le biais de capteurs, effecteurs, qui fournissent ainsi à leur utilisateur une série de service (alerte, recommandation, rappel, orientation...). L'intelligence ambiante [Weiser, 1991] vient augmenter ces possibilités en offrant des services intelligents (adaptatifs, sensibles au contexte, proactifs). En effet, l'exploitation de techniques issues de l'Intelligence Artificielle permet de concevoir des Systèmes Intelligents Ambiants (SIA), c'est à dire dotés d'entités capables de coopérer, de raisonner et d'apprendre. Ils offrent ainsi des perspectives intéressantes pour la conception de systèmes d'assistance capables de guider, assister ou surveiller des personnes âgées.

## Etat de l'existant et problématique

Ces dernières années, les chercheurs ont mis au point une variété de technologies d'assistance basées sur l'intelligence ambiante. La mise en place de ces services innovants a soulevé plusieurs défis scientifiques liés à l'*interopérabilité*, l'*ouverture*, la *dynamique* et la *non-prédictibilité* de l'environnement du système et de ses usagers.

Les technologies d'assistance à la vie basées sur l'intelligence ambiante sont connues dans la littérature scientifiques sous le terme d'« outils ambiants d'assistance à la vie » (de l'anglais Ambient Assisted Living AAL). Ils sont utilisés pour prévenir, assister et améliorer le bien-être et/ou la santé des personnes âgées.

Les outils et systèmes d'assistance AAL développés ont des applications diverses : l'intervention d'urgence [Eklund *et al.*, 2005], la surveillance à domicile [Fleck et Strasser, 2008], la détection des chutes [Aghajan *et al.*, 2007], l'aide aux ac-

tivités quotidiennes à domicile via des rappels [Pollack *et al.*, 2003b], l’automatisation de certaines tâches [Dubowsky *et al.*, 2000]. Ils ciblent généralement une tâche spécifique ou ont une fonction précise comme le système COACH (Cognitive Orthosis for assisting aCtivities in the Home) [Mihailidis *et al.*, 2004] qui guide un utilisateur lors du lavage de ses mains, ou PEAT [Levinson, 1997] et Autominder [Pollack *et al.*, 2003a] qui offrent des outils d’orthèses cognitives.

Les outils d’assistance à l’extérieur sont le plus souvent restreints à des zones géographiques ou des itinéraires pré-établis et habituels. Ainsi, OutCare [Wan *et al.*, 2011] et KopAL [Fudickar et Schnor, 2009] assistent leur utilisateur en cas de problèmes d’errance ou de déviation.

Toutefois, l’existence de ces outils et technologies ne garantit en rien leur acceptabilité par les personnes âgées.

Nous pouvons souligner les trois insuffisances principales de ces outils :

- Ils sont **socialement inappropriés** car ils ont une utilisation restreinte, sont perçus comme indiscrets et n’intègrent que rarement l’environnement social de l’usager.
- Ils ont **un usage restreint et manque de flexibilité**. Ils aident un cas particulier d’utilisateurs avec un niveau spécifique de fragilité et dans un environnement physique restreint [Anliker *et al.*, 2004, Mihailidis *et al.*, 2004, Rashidi et Cook, 2009]. Ils sont vite jugés inadéquats par manque de flexibilité des paramètres de configuration, la complexité de leur utilisation ou la faible qualité de l’interaction.
- Ils **ne s’adaptent pas** à l’évolution de leur utilisateur et à leurs besoins variables et imprévisibles. Par exemple, dans le système OutCare [Wan *et al.*, 2011], le choix par l’utilisateur de prendre un nouvel itinéraire est interprété comme une situation de désorientation. Il est souvent exigé une adaptation de l’utilisateur au système plutôt que l’inverse.

En conclusion, les outils existants sont insatisfaisants car ils ne fournissent que rarement les services utiles, utilisables ou capables de s’adapter aux besoins ou états cognitifs évolutifs de leurs utilisateurs [Sadri, 2011]. De plus, ces outils ne prennent pas en compte l’imprévisibilité et la dynamique de l’environnement dans lequel leurs utilisateurs sont immergés mais sont plutôt conçus pour des contextes stables et bien définis à l’avance.

Compte tenu de ces observations, la question principale abordée par cette thèse est la suivante :

**Comment concevoir et mettre en œuvre un système ambiant d'assistance qui soit d'une part utile et utilisable par des personnes âgées vulnérables, et d'autre part capable de s'adapter à la dynamique, la distribution et l'imprévisibilité de leur environnement ?**

La réponse à cette question suppose de répondre aux deux sous problèmes suivants :

- *Comment* recueillir les exigences d'un utilisateur pour concevoir un système d'assistance utile et utilisable par cette population vulnérable ?
- *Comment* concevoir et mettre en œuvre un système ambiant d'assistance capable de s'adapter à son utilisateur et à son environnement ?

## **Approche retenue**

L'approche suivie dans cette thèse se base sur deux principes directeurs : **une approche de conception centrée utilisateur basée sur les scénarios** qui va permettre de recueillir les exigences d'un système d'assistance utile et utilisable par les personnes âgées et **un développement d'un système multi-agents auto-adaptatif** capable d'apprentissage afin de permettre une adaptation à son utilisateur et à son environnement distribué, dynamique et imprévisible.

### **Une approche de conception basée sur les scénarios**

Afin de construire un tel dispositif technique dit "Bien pensé", il est nécessaire dans la mesure du possible de prendre en compte le point de vue des futurs utilisateurs et d'impliquer les différentes parties prenantes (idéalement : les proches, la famille, les services sociaux, les experts en médecine et en science sociale et humaine...) tout au long du processus de conception et de développement. [Mitzner et Rogers, 2010] montre que la participation des utilisateurs (personnes âgées) au processus de conception augmente le taux d'acceptation du système. En effet, les utilisateurs, quand ils le peuvent, souhaitent être au cœur du processus et être impliqués à chaque étape du projet afin de valider le système en fonction de leurs besoins et ainsi augmenter leur estime de soi et leur autonomie.

Dans notre cas, nous avons conçu et choisi de suivre une approche de conception centrée utilisateur, pluridisciplinaire (incluant les utilisateurs, des informaticiens et des sociologues et dans une moindre mesure des médecins) et basée sur des *scénarios*.



Les *scénarios* permettent d'exprimer une grande variété de cas d'utilisation, facilitant ainsi le recueil des exigences du système [Rolland *et al.*, 1998]. Plus précisément, en ce qui nous concerne, un scénario décrit une succession d'actions du dispositif accompagnant les activités d'un utilisateur dans sa vie quotidienne à l'extérieur.

Le choix des scénarii est justifié par deux raisons. Ils permettent de construire des objets partagés et synthétisant les différents points de vue des parties prenantes. Ils aident ainsi progressivement à construire un langage commun qui accroît la compréhension mutuelle et le partage de points de vue. De plus, dans des formes différentes, les scénarios peuvent être utilisés dans plusieurs étapes du cycle de vie du système : du recueil des besoins à l'implémentation.

## Une approche multi-agents auto-adaptatifs

Le système d'assistance devra être immergé dans un environnement ouvert et à ressources distribuées, mobiles et dynamiques. Ce domaine se prête assez naturellement à une approche multi-agents [Foster *et al.*, 2004] qui permet de capturer la dynamique, la distribution et l'ouverture de cet environnement.

Notre système devra aussi s'adapter aux *contextes* changeants de l'utilisateur et prendre en compte ses évolutions possibles comme discutés ci-dessus.

La notion de Contexte nous est apparue adaptée à la prise en compte de ces changements dynamiques. Les contextes ont été largement étudiés (Voir par exemple [Bazire et Brézillon, 2005, Salembier *et al.*, 2009]). Dans notre cas, un *contexte* est défini comme un ensemble de perceptions du système (événements, état de l'environnement et de l'utilisateur, situation spatio-temporelle ...) qui justifient le déclenchement d'actions adéquates. En d'autres termes, c'est la corrélation de valeurs de plusieurs paramètres issus de perceptions qui définira un contexte et en conséquence les actions à réaliser. Compte tenu des nombreux contextes éventuellement imprévisibles qui pourraient exister dans notre environnement ouvert et dynamique, il est difficile de les énumérer a priori. Afin de gérer au mieux les réactions à ces contextes nombreux, dynamiques et imprévisibles, nous avons adopté une approche *parapprentissage* automatique.

Nous utilisons une approche inspirée de l'*apprentissage* naturel, appelée apprentissage par renforcement, qui apprend de ses actions et ses erreurs pour produire de meilleures performances à l'avenir, grâce à des récompenses. En outre, c'est la seule approche qui ne nécessite pas d'exemples et qui traite de la dynamique et de

l'imprévisibilité requise pour notre système. Plus précisément, nos agents tenteront de déterminer automatiquement un comportement coopératif (« en équipe »)) idéal pour un contexte donné en se basant sur les « retours » de l'environnement.

Nous exploiterons un modèle (théorie) de coopération appelé e Adaptive Multi-Agent Systems (AMAS) [Capera *et al.*, 2003] adapté à l'apprentissage par renforcements de comportements coopératifs. Le modèle des AMAS, inventé dans notre équipe SMAC de l'IRIT, a présenté des résultats encourageants dans plusieurs applications telles que la surveillance de personnes dans leur domicile [Guivarch *et al.*, 2014] ou la détection de comportements suspects de bateaux dans le cadre de la surveillance maritime [Brax *et al.*, 2012]. Dans ce modèle des AMAS, les agents s'auto-organisent par coopération puisque les créations automatiques, les modifications, les fusions ou les suppressions d'agents sont opérées sans intervention extérieure.

## Contributions

Le dispositif technique conçu, appelé Sadikikoi, devrait aider les personnes âgées dans leurs activités quotidiennes à l'extérieur, soit par suggestions pour réorganiser leur emploi de temps ou par l'envoi d'alertes en cas de situations à risque (désorientation, chute ...) détectées en fonction du contexte.

### Une Approche de Conception Centrée Utilisateurs basée sur les scénarios [Triki *et al.*, 2015]

Elle comprend (cf. chapitre 3) une philosophie de conception inspirée de la Méthode de l'Objet Flou [Membrado et Rouyer, 2013, Callon *et al.*, 2007, Hatchuel *et al.*, 2002, Akrich, 1991], un ensemble de techniques, un cycle de vie, et des langages, modèles et outils supports. Elle se base sur un méta-modèle de scénarii (voir chapitre 3 figure 3.4). Ce méta-modèle a été élaboré suite à des discussions pluridisciplinaires. Il nous a permis de prendre en compte différents points de vue afin de définir un socle de travail collectif. Nous avons aussi suivi le cadre conceptuel des scénarios de [Rolland *et al.*, 1998] qui structure un scénario selon quatre vues : *but*, *contenu*, *cycle de vie* et *forme* (voir Figure 1.8).

- Nos scenarios ont pour *but* de spécifier notre système en simplifiant la description de son fonctionnement et en facilitant la compréhension de son comportement.
- Le *contenu* de chaque scénario est une description du comportement du système

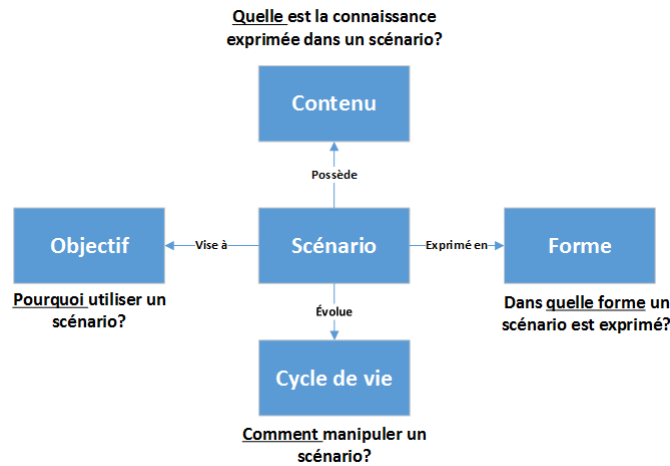


Figure 1 – Différentes vues d'un scénario [Rolland *et al.*, 1998]

dans son environnement ambiant. Il est représenté comme un processus qui décrit les différentes interactions possibles entre le système et les parties prenantes. La description de plusieurs situations, les réactions du système face à ces situations et les interactions avec l'utilisateur nous permettent de préciser les besoins et les attentes des personnes âgées.

- Chaque scénario possède un *cycle de vie* : tout scénario est, d'abord, créé à partir de la discussion ou automatiquement généré par un générateur (conçu par nos soins), ensuite, actualisé / raffiné après discussion et enfin utilisé pour l'apprentissage et les tests.
- Un scénario peut être représenté sous différentes *formes* : soit par un texte qui est une forme standard compréhensible par tous les acteurs soit par des tables relationnelles (Fichiers logs, journaux, conformes au méta-modèle de scénarios, plus systématiques et adaptés aux concepteurs.

Ainsi, en se basant sur ce modèle, un cadre général de partage et de communication d'information a été proposé et a servi tout au long du processus de spécification, développement et validation du système.

## La conception et spécification d'un système multi-agent adaptatif d'assistance [Triki et Hanachi, 2017]

Nous avons conçu et spécifié notre système Sadikikoi en fournissant quatre modèles (selon l'approche Voyelle proposée par Yves Demazeau (Demazeau 1996) :

1. un modèle d'agents où sont définis la structure et le comportement des agents ;

2. un modèle de l'environnement incluant les éléments physiques le constituant ainsi que les événements qui s'y produisent ;
3. un modèle d'interaction précisant les protocoles d'interactions entre agents ainsi que leur processus d'apprentissage collectif basé sur les AMAS ;
4. un modèle organisationnel qui structure de manière modulaire le système multi-agents en groupes et rôles pour aider à son efficacité.

## **L'implantation d'un simulateur de système multi-agent adaptatif pour l'assistance [Triki et Hanachi, 2017]**

Nous avons développé un prototype de système multi-agents (sous forme de simulateur) qui assure le suivi et l'analyse du comportement de l'utilisateur et propose des recommandations et déclenche des alertes. Ce système conserve également une marge d'initiative à l'utilisateur et permet l'émergence de comportements innovants (ensemble d'actions possibles). Notre simulateur permet de percevoir l'environnement simulé, d'analyser les perceptions pour les associer à des contextes, d'identifier des actions possibles qu'il planifie et exécute. Les contextes sont représentés par des agents à part entière qui se créent dynamiquement et apprennent collectivement.

### **Validation du simulateur**

Nous avons validé notre simulateur d'un point de vue qualitatif en discutant son acceptabilité, mais également d'un point de vue quantitatif sur la base de simulations mesurant son efficacité en termes d'apprentissage. Le test de notre système avec des utilisateurs réels aurait été chronophage, et risqué au stade de prototype. Nos utilisateurs sont fragiles, pas toujours disponibles et ne peuvent pas se comporter normalement lorsqu'ils sont observés. Nous avons donc décidé de définir un environnement virtuel perçu par l'intermédiaire d'événements simulés. Un événement est un fait marquant qui peut être soit issu d'une activité de l'utilisateur, soit une action du système ou une observation de l'environnement (exemple : il pleut!). Ces événements sont organisés en unités logiques correspondant à des scénarios. Chaque scénario représente une succession d'événements réalisés dans une période donnée (un jour au plus) et dans un même lieu.

## Plan du manuscrit

Ce rapport de thèse, organisé en deux parties est encadré par une introduction et une conclusion :

- La première partie "Etat de l'art" est subdivisée en deux chapitres :
  - Le chapitre 1 "Conception centrée utilisateur et multidisciplinaire pour les personnes âgées" passe en revue plusieurs approches dérivées de la Conception Centrée Utilisateur (CCU) et les compare sur la base de plusieurs critères (étape(s) du cycle de vie concernée, techniques utilisées, rôle et degré d'implication de l'utilisateur). Il discute ensuite leur adéquation aux exigences des systèmes d'assistance de personnes âgées.
  - Dans le chapitre 2 " Systèmes d'assistance ambiants intelligents", nous présentons des systèmes d'assistance représentatifs de l'état de l'art et décrivons brièvement leur objectif et fonctionnement. Ces systèmes seront par la suite évalués en fonction de plusieurs critères (environnement ouvert ou non, interopérabilité, sensibilité au contexte et capacité d'adaptation) attendus pour des systèmes ambiants d'assistance à des activités externes.
- La deuxième partie "Contributions" est organisée en trois chapitres :
  - Le chapitre 3 "L'approche de conception centrée utilisateur à base de scénarios proposée" expose la philosophie de conception retenue, son cycle de vie, et les langages, modèles et outils supports. Nous nous appliquons à mettre en évidence le rôle central des scénarios et leur cycle de vie : depuis leur forme textuelle jusqu'à une spécification du comportement de notre système sous forme de réseau de Petri, obtenu par une synthèse de scénarios.
  - Le chapitre 4 "Conception du système multi-agent adaptatif ambiant d'assistance SADIKIKOI" présente l'architecture de notre prototype et détaille selon l'approche voyelle [Demazeau et Costa, 1996] les modèles des agents, de l'environnement, de l'organisation et des interactions.
  - Le chapitre 5 "Mise en œuvre et expérimentation du système SADIKIKOI" introduit, en premier lieu, l'interface du simulateur multi-agents ambiant proposé, ainsi que le générateur de scénario utilisé. En second lieu, il présente son évaluation d'une part qualitative (acceptabilité), et d'autre part quantitative à travers une ensemble de mesures et de courbes relatives à sa capacité d'adaptation.

Nous concluons ce mémoire en dressant un bilan de nos contributions et en précisant leurs limites ainsi que les perspectives entrouvertes par nos travaux.



*Première partie*

---

## ÉTAT DE L'ART





# 1

---

## Conception centrée utilisateur et multidisciplinaire pour les personnes âgées

### 1.1 Introduction

L'objectif de ce chapitre est de présenter un état de l'art sur les approches de conception centrée utilisateur (CCU), et ciblant en particulier les populations vulnérables (personnes âgées, non-voyants, enfants...).

Nous présenterons, en *section 2*, les grands principes de l'approche CCU avec le rôle central de l'utilisabilité.

La *section 3* présentera des approches dérivées de la CCU, leur classification et les positionnera relativement à plusieurs critères : le degré d'implication et le rôle de l'utilisateur, les phases du cycle de vie qu'elles couvrent, la taille appropriée des groupes d'utilisateurs. Nous détaillerons plus précisément les approches empathique, contextuelle et participative qui nous semblent être les plus adaptées à la conception de systèmes dédiés aux personnes âgées.

La *section 4* sera consacrée aux diverses techniques exploitées dans les approches de CCU. Elle présentera en particulier les techniques exploitables dans notre contexte applicatif, et notamment les questionnaires, les personas, les groupes de discussion, les scénarios, le maquettage et le prototypage. Elle discutera aussi les avantages et inconvénients de chacune de ces techniques.

Dans la *section 5*, nous rappellerons les exigences du système d'assistance aux personnes âgées à concevoir et discuterons le type d'approches et techniques qui nous semblent le plus appropriées pour le concevoir.

Enfin, la *section 6* fera un bilan de ce chapitre.

## 1.2 La conception centrée utilisateur

La conception centrée utilisateur (CCU), introduit par Norman et Draper [Norman et Draper, 1986], est une philosophie de conception de produits, en particulier de logiciels interactifs, dans laquelle l'utilisateur est mis au centre de chacune des étapes du cycle de vie de conception et développement.

Elle préconise de se focaliser sur les besoins des utilisateurs en évaluant l'utilisabilité [Kahl, 2011] du produit conçu et développé. Elle a donné lieu à des principes, techniques, critères de qualité, normes et approches.

Elle peut être exploitée ou intégrée dans des cycles de vie ou des méthodes de conception existants (RUP, processus agiles, cycle de vie en spirale...).

Il existe également des cycles de vie ou approches, qui lui sont dédiés tels que « le cycle de vie en étoile » de Hartson et Hix [Hix et Hartson, 1993], l'approche LUCID [Kreitzberg, 2008] ou le processus de la norme ISO 13407 [ISO, 1999] à titre d'exemples.

Alors que les approches de conception de logiciels classiques se focalisent sur la question du quoi (la fonction du logiciel, son comportement et ses composants), la CCU introduit l'utilisateur comme un acteur à part entière et met le focus sur le pourquoi [Salinesi, 2010] : la raison d'être du logiciel et sa place dans l'organisation.

### 1.2.1 L'utilisabilité comme critère de qualité de haut niveau

Le critère de qualité essentiel qui structure la conception centrée utilisateur d'un produit est donc l'utilisabilité qui, selon la norme ISO 9241-11 [ISO, 1998], entretient des relations avec deux autres concepts clefs qui guident la conception : les buts et le contexte d'utilisation (Figure 1.1).

Les objectifs de l'utilisateur viennent répondre à ses besoins qu'il faut donc au préalable avoir identifiés. Pour atteindre ses buts l'utilisateur réalise des tâches.

Un contexte d'utilisation est déterminé par le profil de l'utilisateur (capacités physiques et cognitives, connaissances, langage, habitude, âge...), la tâche à réaliser, l'équipement technique (matériel et logiciel) utilisé ainsi que l'environnement physique et social dans lequel il réalise sa tâche.

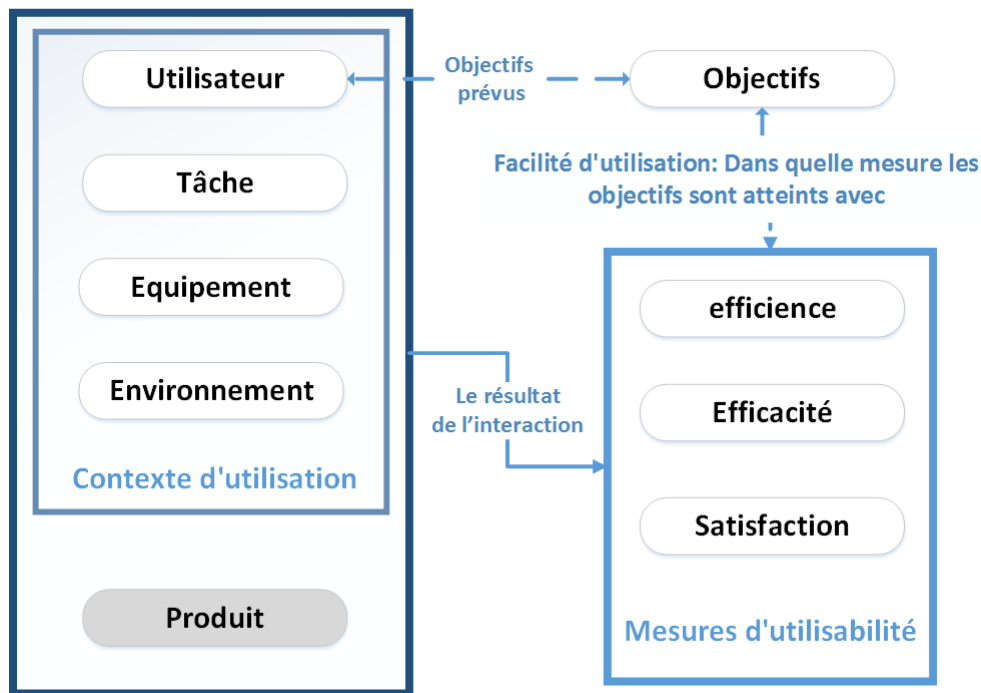


Figure 1.1 – L'utilisabilité dans la conception centrée utilisateur selon la norme ISO 9241-11 [ISO, 1998]

L'utilisabilité est mesurée à travers l'efficacité, l'efficience et la satisfaction. L'efficacité mesure la capacité de l'utilisateur à atteindre ses buts à travers la réalisation de ses tâches. L'efficience mesure l'effort et les ressources nécessaires pour réaliser ses buts. La satisfaction mesure le contentement (subjectif) de l'utilisateur en terme de confort obtenu grâce à l'utilisation du produit réalisé qui lui permet d'atteindre ses buts.

[Nielsen et Phillips, 1993] a étendu ces facteurs de qualité en ajoutant notamment : la facilité d'apprentissage, la prévention des erreurs et la facilité de mémorisation du mode d'utilisation du produit. Il intègre l'utilisabilité dans un critère plus large : l'acceptabilité. Il y distingue l'acceptabilité sociale et l'acceptabilité pratique, deux notions qui nous semblent pertinentes. La première se réfère à la perception de l'outil en particulier sa compatibilité avec les valeurs, les exigences et les intérêts des futurs utilisateurs, la seconde renvoie à sa pratique : l'utilité, l'utilisabilité ainsi que d'autres paramètres comme le coût, la fiabilité. . . L'utilisabilité comme composante de l'acceptabilité est toutefois remise en cause ; Ainsi [Tricot *et al.*, 2003] considère plutôt que les notions d'acceptabilité, d'utilité et d'utilisabilité s'articulent sans se confondre et sont complémentaires.

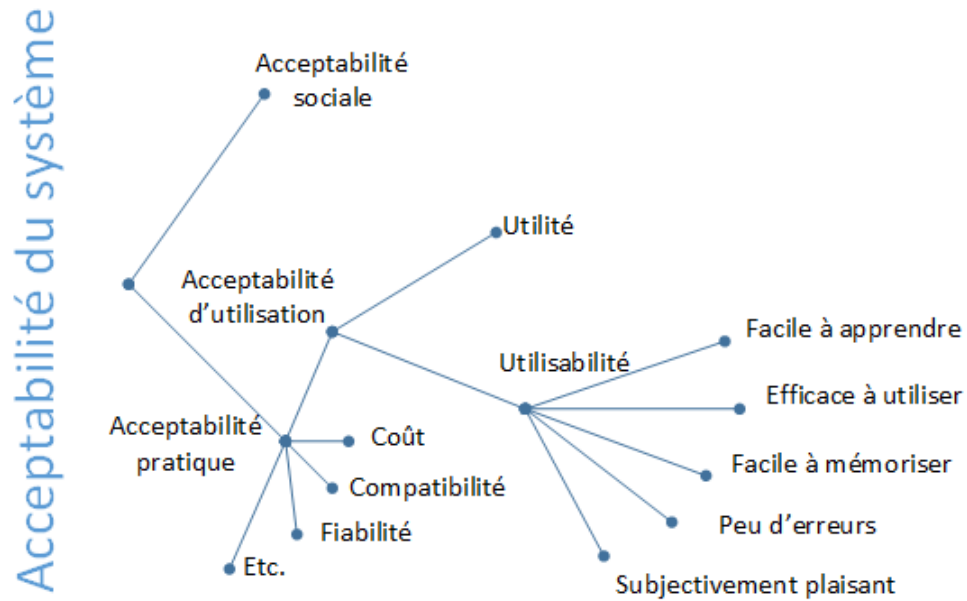


Figure 1.2 – Modèle de l'acceptabilité de Nielsen [Nielsen et Phillips, 1993]

Ces différents critères (Figure 1.2) exigent de recueillir les contextes d'utilisation, de définir les exigences relatives à ces critères et le moyen de les mesurer et les évaluer. Ces différentes activités, relatives à l'évaluation, interviennent à différentes étapes du cycle de vie de conception et développement.

### 1.2.2 Les principes de la conception centrée utilisateur

[Gulliksen *et al.*, 2003] a défini douze principes clefs pour faciliter le succès d'une conception centrée utilisateur. On peut les résumer en trois catégories de principes relatifs à :

- *La place de l'utilisateur* : le focus doit être porté sur les besoins des utilisateurs (buts et contextes d'utilisation) et leur implication doit être continue et active tout au long du cycle de vie ;
- *Le style de conception et développement* : il est préconisé une implémentation itérative et incrémentale, basé sur des prototypes et des représentations conceptuelles comprises par les parties prenantes multidisciplinaires. Il est admis que le cycle de vie reste libre et doit être personnalisé en fonction de chaque projet ;
- *Le rôle de l'utilisabilité* : les partie-prenantes doivent être conscientes et s'accorder sur l'intérêt de l'utilisabilité qui doit être présent dans l'ensemble du cycle de vie et débiter le plus tôt. L'évaluation de l'utilisabilité doit être récurrente et guider

le développement incrémental.

## 1.3 Les différentes approches de conception centrée utilisateur

Historiquement, les approches de conception ont été créées par des chercheurs ou des industriels et il existe tout un continuum d'approches qui varient selon le degré d'implication et le rôle de l'utilisateur, les phases du cycle de vie qu'elles couvrent, la taille appropriée des groupes d'utilisateurs.

### 1.3.1 Classification des approches de conception centrée utilisateur

Afin de parcourir les différentes approches de conception existantes, nous examinerons en détail trois classifications de l'état de l'art qui nous sont apparues les plus significatives, complémentaires et assez couvrantes des approches et techniques existantes. Plus précisément, nous présenterons les classifications de [B.-N. Sanders, 2006], [Muller, 2003] et [Steen *et al.*, 2007]. Le lecteur pourra aussi trouver un état de l'art complet dans [Alaoui, 2013]. Nous mettrons aussi en évidence les principaux critères pris en compte dans chacune d'entre elles.

Sanders [B.-N. Sanders, 2006] présente une typologie des différentes approches de conception par un « collage cognitif » (carte qui induit des vues et des chemins entre les différentes approches), illustrée par la figure 1.3. Elle définit sa carte avec deux dimensions :

- *La dimension verticale* décrit l'origine ou influence des approches : dirigée-conception ("design-led") ou dirigée-recherche ("research-led") selon qu'une approche a été mise en œuvre par des concepteurs ou par des chercheurs. On constate une influence prédominante de la recherche.
- *La dimension horizontale* décrit l'état d'esprit des concepteurs par rapport aux utilisateurs finaux : les utilisateurs sont vus comme des objets réactifs "experts mindset" ou bien des partenaires actifs "participatory mindset". De gauche à droite, on passe alors d'une conception pour les utilisateurs à une conception avec les utilisateurs.

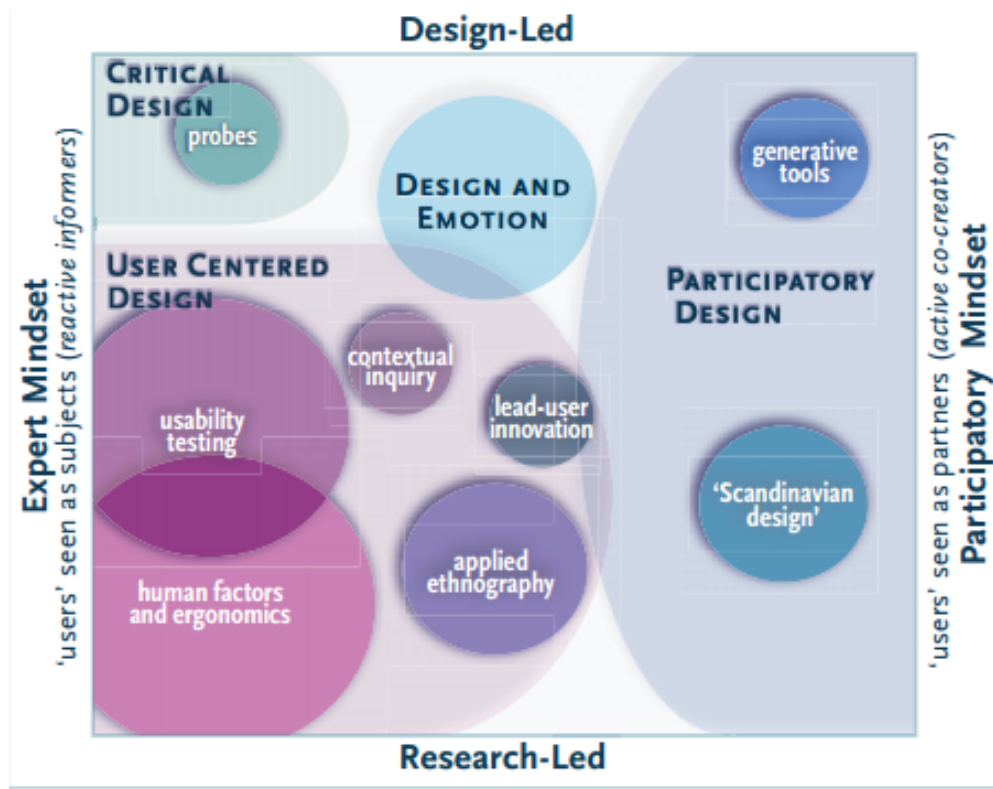


Figure 1.3 – Topographie des recherches en conception (Figure extraite de [B.-N. Sanders, 2006])

La dimension d'une forme est proportionnelle aux nombres de méthodes, techniques, outils et personnes qui adoptent l'approche correspondante. Il est important de remarquer la forte influence des sciences humaines et sociales (psychologie, ethnographie, ergonomie) dans la CCU qui s'explique notamment par l'apport de nombreuses techniques, d'observation des utilisateurs et de recueil d'information, qu'elles fournissent.

Nous tenons à préciser que dans [B.-N. Sanders, 2006] la CCU, bien que connexe, est dissociée de la conception participative alors que dans plusieurs autres travaux la CCU est envisagée comme englobant la conception participative.

Muller et al. [Muller, 2003] donne une autre classification plus fine où apparaissent majoritairement des techniques ou outils en support à certaines activités du cycle de vie et facilitant la participation de l'utilisateur (cf. Figure 1.4) :

- *L'axe vertical* décrit l'activité de participation de l'utilisateur ou du concepteur dans l'univers de l'autre et vice-versa.
- *L'axe horizontal* décrit le positionnement (tôt ou tard) de l'activité dans le cycle

de vie.

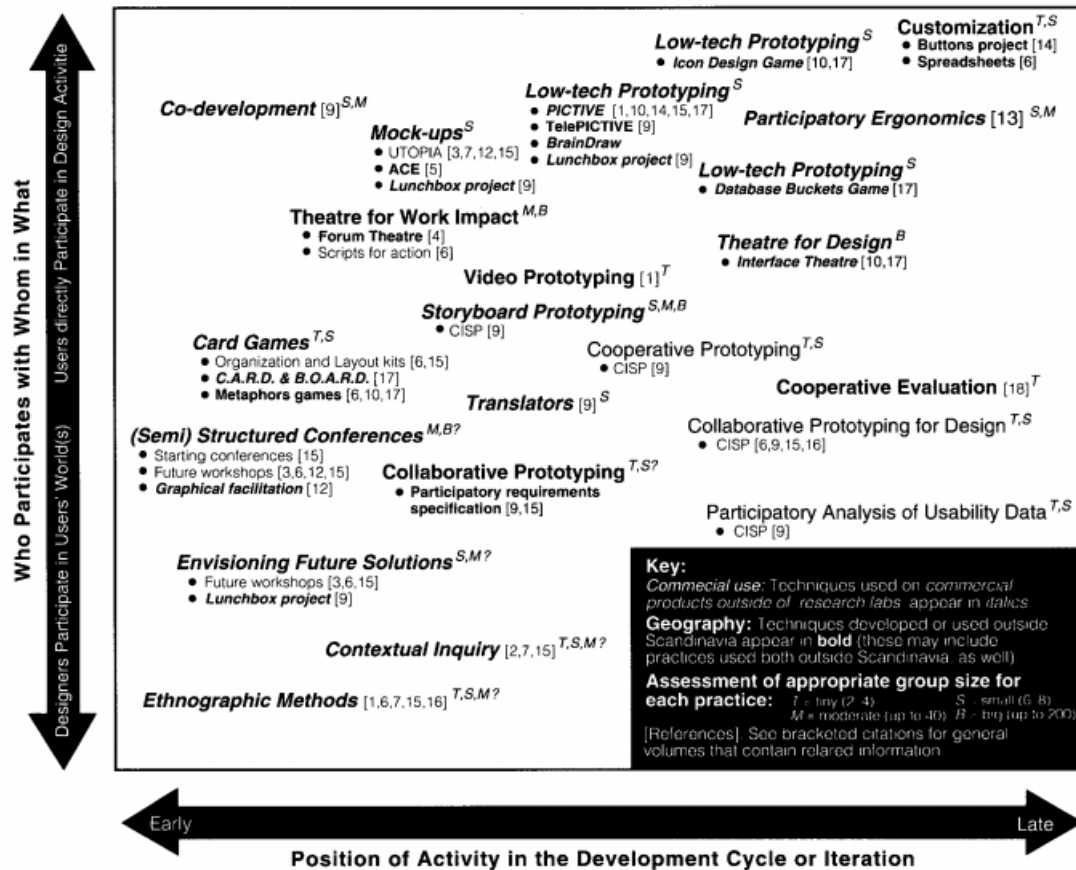


Figure 1.4 – Classification de Muller (Figure extraite de [Muller, 2003])

De plus elle fournit pour chaque composant (technique, outils, méthodes) la taille suggérée du groupe des participants (concepteurs et utilisateurs). Il faut cependant mentionner l'absence de techniques plus récentes telles que les scénarios qui ne sont pas mentionnées dans cette étude et pourtant à fort potentiel (cf. section 4) puisqu'ils peuvent couvrir le cycle de vie. D'autres méthodes plus ciblés sur le recueil des exigences telles que l'écritoire [Tawbi *et al.*, 1998] n'y figurent pas et mériteraient de compléter cette classification.

Steen *et al.* [Steen *et al.*, 2007] décrit six approches de conception centrées utilisateurs qu'il compare à des pas de danse et considère qu'en réalité on peut être amené à les combiner pour produire une chorégraphie (cf. Figure 1.5) adaptée au problème à traiter. Il base sa classification sur les connaissances engagées et privilégiées dans un projet, leur propriétaire (chercheurs, concepteurs, utilisateurs), leur mouvement (transfert

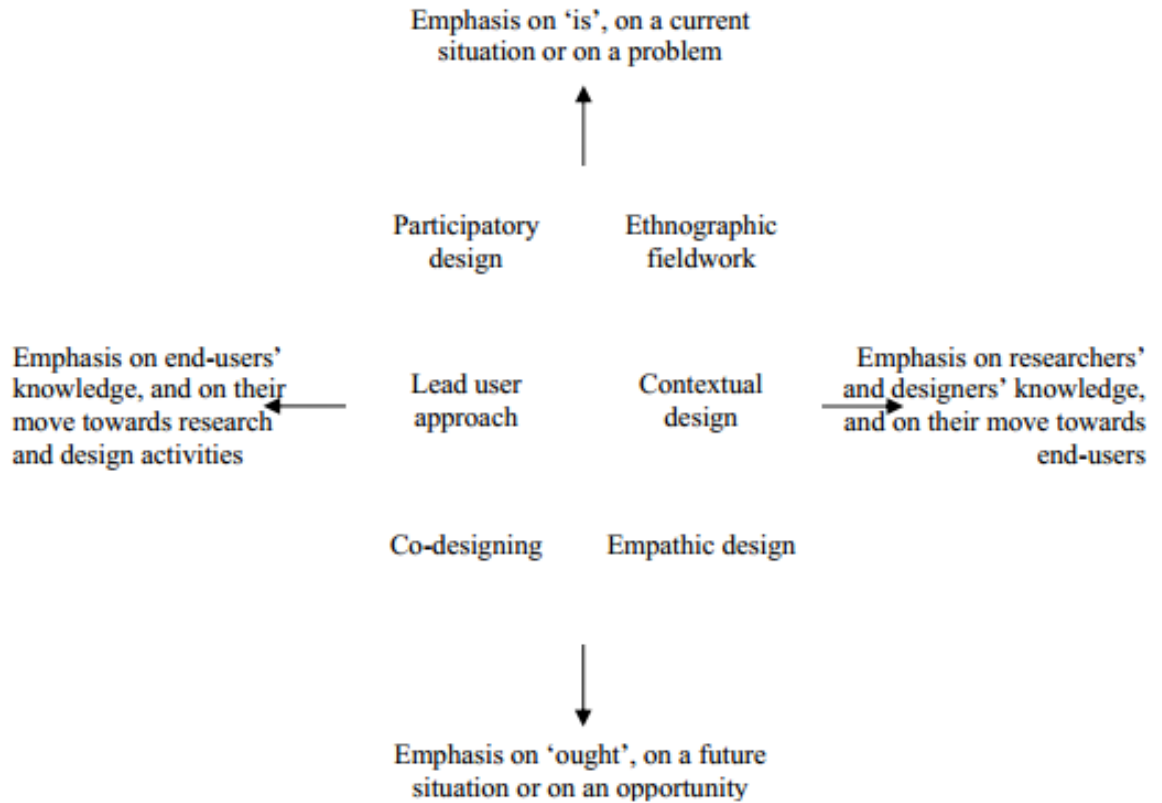


Figure 1.5 – Différentes méthodes et pratique de conception centrée-utilisateur (Figure extraite de [Steen *et al.*, 2007])

de connaissance d'un acteur vers un autre) et son type (connaissances sur une situation présente possiblement problématique : contexte d'utilisation ; connaissances/idées sur une situation future souhaitée).

- *L'axe horizontal* donne le sens du mouvement des acteurs : à gauche, les connaissances des utilisateurs sont privilégiées et ces derniers participent à la conception. Par exemple, dans le « Leader user approach », l'utilisateur a une idée de produit et la concrétise en s'associant à des concepteurs et/ou chercheurs. A droite, les connaissances des chercheurs et/ou des concepteurs sont privilégiées et ces derniers investissent le monde des utilisateurs en les associant, les observant ou les questionnant.
- *L'axe vertical* traite du focus de l'approche : réaliser un produit pour traiter un problème actuel (emphasis on « is ») ou réaliser un produit offrant une nouvelle opportunité. On se déplace d'une activité de type résolution de problème (en



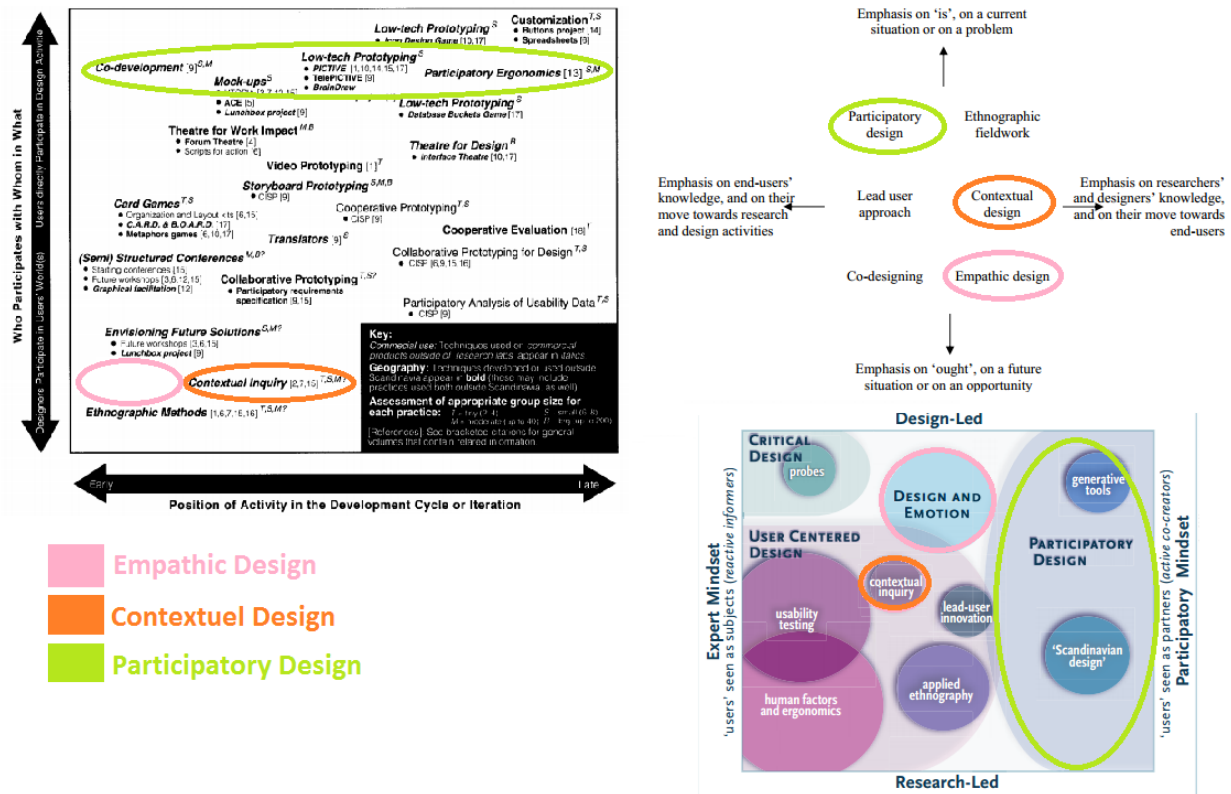


Figure 1.6 – Positionnement des approches empathiques, contextuelles et participatives par rapport aux classifications étudiées

haut) vers l'innovation (en bas).

Dans la prochaine section, nous détaillons trois de ces approches figurant dans [Steen *et al.*, 2007] et qui nous paraissent adaptées aux systèmes d'assistance pour personnes âgées : les conceptions empathique, contextuelle et participative.

### 1.3.2 Les différentes approches orienté utilisateur utilisées pour des systèmes ciblant les personnes âgées

La figure 1.6 illustre la position des approches empathique, contextuelle et participative dans les différentes classifications précédentes.

**La conception empathique** est menée à l'initiative des chercheurs et/ou concepteurs qui essaient de comprendre en profondeur les comportements, habitudes, préférences, expériences et sentiments d'un utilisateur (ou plusieurs) [Vredenburg *et al.*, 2001, Kouprie et Visser, 2009]. Elle repose sur une relation d'empathie, des interactions et des

observations menées dans l'environnement physique de l'utilisateur. Il s'agit de comprendre et s'inspirer de sa pratique quotidienne d'un produit pour l'améliorer ou le plus souvent innover et créer un nouveau produit. Quand il s'agit de créer un nouvel objet, des scénarios d'utilisation peuvent être établis en concertation et observés ensuite pendant leur déroulement. Dans tous les cas l'observation demeure une technique plus ouverte que l'enquête à base de questionnaires qui figent l'univers du possible et les possibilités d'innovation. [Leonard et Rayport, 1997] a défini un processus de conception empathique en cinq étapes :

1. l'observation : pour laquelle doit être déterminée le sujet observé, l'observateur et les activités à observer ;
2. la capture des données : elle peut comprendre des outils aussi divers que la vidéo, la photographie, le dessin ; Il est important de souligner que la vidéo permet de percevoir le « langage du corps » qui est très informatif ;
3. la réflexion et l'analyse des données : il s'agit ici d'interpréter les données recueillies précédemment pour identifier les problèmes et besoins de l'utilisateur ;
4. le « Brainstorming » de solutions : cette phase doit permettre de faire émerger des solutions répondant aux problèmes identifiés dans la phase précédente. Elle se base sur une représentation graphique et imagée qui obéit à des règles qui favorisent la co-construction, évitent les jugements et la dispersion ;
5. Développement de prototypes : il s'agit de concrétiser les solutions définies précédentes (forme, fonction...) en créant un ou plusieurs objet(s) matériel(s) ou immatériel(s), qui peut aussi être une simulation.

**La conception contextuelle** [Beyer et Holtzblatt, 1997, Holtzblatt *et al.*, 2004] est dirigée par les concepteurs qui observent de futurs utilisateurs dans leur contexte de travail afin de comprendre leurs difficultés et définir leurs besoins Elle est constituée de deux grandes phases :

1. Recueil des exigences et définition de la solution : elle débute par une enquête contextuelle du système existant mené en coopération avec les utilisateurs et se termine par la spécification générale du nouveau système. Les techniques utilisées sont principalement les groupes de discussion, les interviews, les questionnaires ou des enquêtes [Rialle *et al.*, 2009, Czarnuch et Mihailidis, 2011, Rosenberg *et al.*, 2012] ;
2. Définition et validation de concepts : elle débute par une conception détaillée à l'aide de scénarii sur des storyboard et se termine par le prototypage et le test par des utilisateurs selon un mode itératif.

La conception contextuelle est plus directive que la conception empathique et a un moins fort potentiel d'innovation.

**La conception participative** [Spinuzzi, 2005] engage les futurs utilisateurs et les concepteurs dans un partenariat à égalité tout au long du processus de conception, et dans un esprit d'échanges et d'apprentissage mutuel. L'utilisateur n'est plus un objet d'étude mais un partenaire à part entière : un co-concepteur. Elle est née dans les années 1970 sous l'influence de mouvements syndicaux scandinaves qui ont exigé de démocratiser les processus d'informatisation des postes de travail en associant les travailleurs concernés. Elle s'exerce également sur le lieu de travail ou de vie des utilisateurs. Elle comporte trois phases :

1. l'exploration initiale du projet : où les concepteurs prennent connaissance des utilisateurs, leur environnement et leur travail effectif (pas nécessairement tel qu'il est raconté). Cette phase exploite des analyses de documents, des interviews, des visites sur place... ;
2. la découverte : consiste à mettre en commun les objectifs du projet et ceux des utilisateurs pour arriver en coopération à la génération d'idées, des propositions d'amélioration et à une vision commune du poste de travail futur. Elle utilise des techniques diverses : vidéos, jeux de rôles, scénarios, histoires, storyboard... ;
3. le prototypage et l'évaluation : les propositions de la phase précédente sont matérialisées sous des formes diverses (prototype papier, video, mock-ups...) et validées.

Parmi les trois approches examinées, la conception participative est celle qui associe le plus les utilisateurs et qui permettra sans doute de produire une meilleure acceptabilité. Elle est cependant orientée vers l'amélioration de systèmes existants plutôt que vers la création d'un nouveau produit. Elle exige aussi un engagement et investissement importants de l'utilisateur qui peuvent être difficiles pour des personnes âgées. D'un autre côté, ces approches fournissent de grands principes et techniques qu'il est possible d'adapter au contexte et à la population d'utilisateurs ciblés, mais aussi de combiner entre eux.

## **1.4 Les techniques utilisées pour la conception orientée utilisateurs**

Pour observer les activités et les usages, recueillir les besoins des utilisateurs, concevoir le futur système et valider son utilisabilité de nombreuses techniques [Mouloudi, 2007] ont été mises en œuvre et sont exploitables dans plusieurs des approches vues précédemment. La qualité des données recueillies et celles des observations permettent de mieux comprendre l'existant et son contexte. Le bon recueil des besoins facilite la spécification du futur système, son maquettage et son prototypage.

Nous avons choisi de détailler ici les techniques qui nous semblent être les plus exploitables dans notre contexte.

### 1.4.1 Les observations

L’observation est une technique de recueil d’information qui consiste à analyser l’activité des utilisateurs dans leur environnement. Elle est généralement utilisée pendant la première phase de la conception.

L. Baker dans [Baker, 2006] a identifié plusieurs types d’observation qui varient notamment selon le rôle ou le niveau d’implication de l’observateur :

- *L’observateur non participant* [Spradley, 1980] : l’observateur n’est pas présent dans l’environnement de l’utilisateur mais réalise l’observation à travers des traces de comportement de l’utilisateur, par exemple à travers des fichiers log [Jones *et al.*, 2000]. Il peut être facilement imaginé de conserver les différentes commandes réalisées par des utilisateurs sur un smartphone ou un ordinateur et d’analyser ensuite ces commandes pour en déduire des comportements. L’inconvénient clair de ce type d’observation est que l’on ne capture pas l’avis ou les sentiments des acteurs dans leur activité, cela reste une observation en surface mais qui peut être un bon point de départ à raffiner par d’autres techniques.
- *L’observateur complet* [Gold, 1958] observe de loin les futurs utilisateurs sans aucune interaction. Il est évidemment difficile d’entrée dans une relation d’empathie par ce type d’observations, mais il faut ici aussi considérer cette technique comme un point de départ ou comme préalable à d’autres techniques.
- *L’observateur comme participant* [Baker, 2006] mène une observation qui inclut des interactions ponctuelles sous la forme de courtes interviews sans entrer pour autant dans l’univers complet des utilisateurs.
- *Le participant en tant qu’observateur* [Gold, 1958]. Dans ce rôle, l’acteur observe et interagit activement avec le groupe observé. Il noue des relations amicales avec les membres du groupe et s’implique dans leurs activités. Cette relation peut faciliter la prise d’information et la compréhension du monde des utilisateurs mais aussi faire perdre le recul nécessaire à l’observateur.
- *Le participant complet* [Adler et Adler, 1994] est un membre du groupe étudié qui joue le rôle d’observateur dans ce même groupe. C’est une place difficile à tenir et à expliquer. [Adler et Adler, 1994] y distingue ceux qui adhèrent aux valeurs du groupe de ceux qui y sont entrés par opportunisme, ce qui peut conduire à des différences dans leur manière de jouer leur rôle.

[Peretz, 1998] propose aussi une typologie des types d’observations basée sur leurs objectifs qui vont d’une estimation statistique d’une tendance, qui ne nécessite pas de

rencontres avec les utilisateurs, mais l'analyse de documents ou de données, à l'observation scénarisée [Mouloudi, 2007] qui permet de tester des scénarios inédits pour des petits groupes.

La technique de l'observation demeure difficile à mettre en œuvre [Baker, 2006] car il est délicat de s'intégrer dans un groupe de personnes, en gardant une certaine distance émotionnelle, et il est aussi difficile de maintenir une observation objective. L'observation pose aussi des problèmes d'éthique (intrusion).

#### **1.4.2 Les groupes de discussion**

Les groupes de discussion constituent une technique efficace de recueil d'information pour explorer les opinions des utilisateurs et leurs façon de comprendre [Lunt et Livingstone, 1996]. Les groupes de discussion se font en plusieurs séances généralement, dont le nombre de séances dépend de la complexité du sujet à traiter.

Les groupes de discussion peuvent être homogènes ou hétérogènes selon les besoins du concepteur. En cas d'hétérogénéité, il est important d'établir des critères de distinction et avoir un langage commun.

L'un des points forts des groupes de discussion est qu'ils apportent de la flexibilité dans la mesure où le concepteur peut orienter la discussion en cas de déviation, mais aussi changer de sujet en cas de gêne.

De plus, cette méthode est très enrichissante puisqu'elle permet de collecter rapidement une grande quantité d'information, non seulement à partir des réponses et discussions, mais aussi par l'observation des attitudes, des réactions et des comportements.

Par ailleurs, les groupes de discussion sont parfois difficiles à programmer avec la présence de tous les participants et généralement difficiles à guider. La discussion peut dévier et déboucher sur plusieurs sujets, surtout quand il s'agit d'un groupe multidisciplinaire. Donc un sujet de discussion spécifique peut demander plus qu'une réunion pour avoir la réponse.

#### **1.4.3 Les questionnaires**

Les questionnaires (sous format papier ou électronique) constituent une technique de recueil d'information qui peut cibler un grand nombre d'utilisateurs et se prêter à des calculs statistiques. Les questionnaires ont le plus souvent une structure et une présentation facile à comprendre, cohérente, bien organisée et adaptée au public ciblé. Cependant, quand les questionnaires sont généralement limités à des questions à choix multiples, ils ne permettent pas aux utilisateurs d'exprimer des opinions et de sortir

du cadre établi par le concepteur. Ils peuvent donc être un frein à la compréhension de l'existant et à l'innovation. De fait, dans la CCU, les questionnaires sont souvent combinés avec d'autres techniques, comme l'observation ou les groupes de discussion. Dans une CCU, ils peuvent se positionner, soit en début de cycle, pour identifier des profils, soit en phase de conception, pour recueillir les préférences des utilisateurs face à des choix de conception, soit vers la fin, pour mesurer la satisfaction des utilisateurs ayant testé un nouveau produit.

#### 1.4.4 Les Personas

Un persona [Pruitt et Adlin, 2006, Turner et Turner, 2011] est un modèle artificiel, représentatif d'un groupe d'utilisateurs qui partagent des caractéristiques communes (préférences, buts, besoins, comportement). Il peut lui être attribué un nom, une photo et des scénarios de comportement. Le but du persona est de fournir aux différents participants de la conception, une image commune et partagée d'un utilisateur type. Plusieurs personas peuvent coexister dans une même conception si l'on doit définir plusieurs profils. Chaque persona est décrit sous forme narrative de sorte à rendre plus réaliste et crédible son existence. Les Personas ont eu des succès reconnus mentionnés dans [Miaskiewicz et Kozar, 2011] : ils ont été intégrées dans les processus de conception d'entreprises éminentes telles que Discover Financial Services, SAP et FedEx [Manning *et al.*, 2003], ils ont aidé les efforts de conception de l'application MSN Explorer chez Microsoft [Grudin et Pruitt, 2002] et le système de divertissement personnel de Sony pour les passagers d'avion [Cooper, 1999].

#### 1.4.5 Les scénarios

La notion de scenario revient de manière récurrente dans les approches de CCU et elle est intégrée dans plusieurs techniques : observation scénarisée, scénario de personas, prototypage, dialogue homme-machine [Young et Barnard, 1987].

Comme le précise [Carroll, 2000], « les scenarios sont des histoires à propos de personnes et de leurs activités ». Dans notre contexte de conception, ils peuvent permettre de comprendre l'usage d'un système existant ou le comportement attendu d'un futur système ainsi que les services qu'ils offrent. Les scénarios peuvent couvrir les différentes phases du cycle de vie d'un produit, et pour une même phase, on peut imaginer plusieurs scénarios de sorte à explorer des alternatives différentes en terme technique comme organisationnel.

Les scénarios peuvent être distingués selon l'objectif qu'ils servent comme le montre la figure 1.7. On y distingue : les scénarios prédictifs, les scénarios exploratoires et les scénarios normatifs. Cette typologie considère le futur système mais on peut aussi avoir

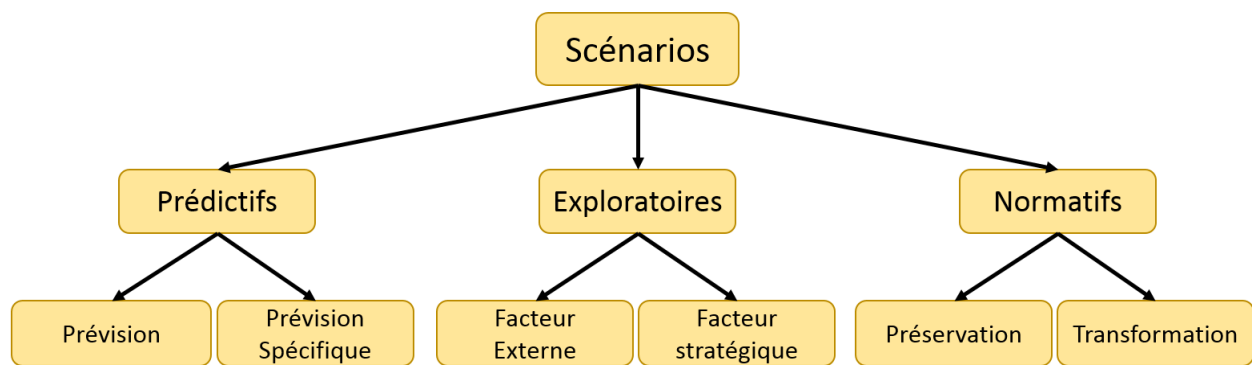


Figure 1.7 – Typologie de scénarios [Börjeson *et al.*, 2006]

des scénarios descriptifs ou explicatifs d'un système existant.

*Les scénarios prédictifs*, souvent utilisés lors des premières phases de la conception, permettent de décrire le fonctionnement face à des situations prévues ("Prévision"), éventuellement fortement perturbés par la valeur d'un ou plusieurs paramètres (« prévision spécifique » ou what-if scénario).

*Les scénarios exploratoires* permettent d'explorer des situations imprévues et mesurer la flexibilité de la solution et des acteurs face à elles. Il peut s'agir de situations qui pourraient être dues à des changements imposés par des facteurs extérieurs non maîtrisables, où à des situations souhaitées relevant de décisions stratégiques internes.

*Les scénarios normatifs* répondent à la question : « comment un état ou un objectif cible peut être atteint ? ». Il s'agit de scénarios qui permettent d'obtenir la cible soit par des ajustements tout en préservant la structure du produit et son organisation (préservation), soit par des transformations radicales (transformation) bouleversant le produit ou son organisation. Ces scénarios peuvent être porteurs de nouvelles idées pour enrichir les fonctionnalités du produit à concevoir de manière itérative.

En 1998, Rolland *et al.* [Rolland *et al.*, 1998] ont proposé un cadre conceptuel de représentation des scénarios à travers quatre vues complémentaires (cf. figure 1.8) : le contenu, la forme, le cycle de vie et le but. Le but (ou objectif) décrit la raison d'être du scénario qui peut exploiter la typologie précédente (prédictifs, exploratoire ou normatif), ou être explicatif ou descriptif.

Le contenu détaille le scénario : ses étapes, le processus suivi avec ses acteurs et l'éventuel environnement dans lequel il est déployé. La forme fait référence au mode de description du scénario (formel/informel, texte/image/animation). Le cycle de vie fait référence à la

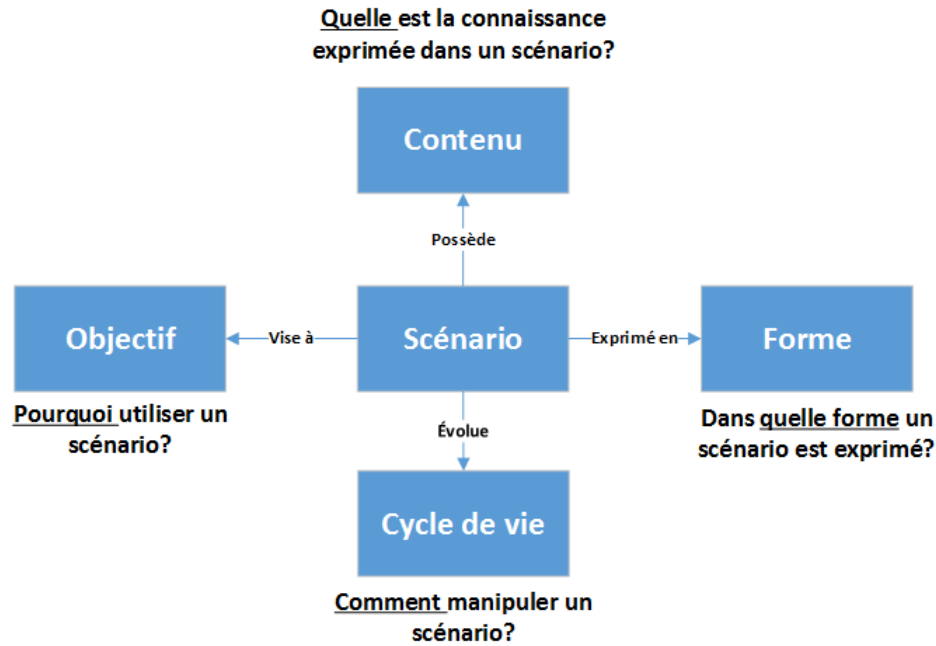


Figure 1.8 – Différentes vues d'un scénario [Rolland *et al.*, 1998]

vie du scénario qui peut évoluer tout au long du cycle de vie du produit.

Rolland *et al.* [Rolland *et al.*, 1998] ont proposé ce modèle pour le recueil des exigences et il a aussi été couplé à un modèle de but pour donner la méthode de l'écritoire [Tawbi *et al.*, 1998]. Nous pensons que ce modèle dont on peut donner une représentation formelle et manipulable est très structurant et exploitable tout au long du cycle de vie logiciel.

#### 1.4.6 Le maquettage et prototypage

Une maquette (ou simulant) est une version réduite du produit à concevoir et peut être sous format objet physique (à échelle réduite) et/ou logiciel (cf. figure 1.9). Elle peut faire apparaître des enchainements d'écrans, sans que les traitements (composants logiciels) soient réalisés (implémentés). C'est un objet à moindre coût qui permet de visualiser une ébauche du produit, et collectivement explorer des options de conception ou valider des choix et leur adéquation avec les exigences des utilisateurs. Un prototype, qui vient après la maquette, est une version préliminaire d'un produit avec tous ses composants réalisés, mais qui peut être amené à évoluer et à être optimisé. Les maquettes comme les prototypes peuvent donc être amenés à évoluer en fonction des interactions entre les différents partenaires. Le prototype est un élément



récurrent des approches de CCU. Plusieurs systèmes conçus pour les personnes âgées selon une approche CCU passent par les techniques de maquettage et de prototypage [Mihailidis *et al.*, 2004, Kanis *et al.*, 2013, McGee-Lennon *et al.*, 2012].



Figure 1.9 – Maison de poupée interactive (Figure extraite de [Kanis *et al.*, 2013])

## 1.5 Quelle approche de conception centrée utilisateur pour un système d'assistance aux personnes âgées ?

Suite à cet état de l'art, il est légitime de se questionner sur le type d'approche de conception centrée utilisateur à retenir pour un système d'assistance aux personnes âgées. Nous allons dans un premier temps rappeler les exigences à prendre en compte au niveau du système à concevoir, mais aussi, au niveau de l'approche de C.C.U. Ensuite, nous discuterons les approches et techniques qui nous semblent les plus adaptées ce type de systèmes.

### 1.5.1 Exigences du système à concevoir

Rappelons que le système d'assistance à concevoir devra permettre à des personnes âgées de s'engager dans l'espace public en minimisant les risques liés à l'érosion de leurs capacités, à s'y repérer, en étant "accompagnées" dans l'espace et le temps, sans que ce système devienne inutilement intrusif. Le système à concevoir doit être capable d'offrir les services suivants :

1. L'assistance aux activités quotidiennes qui se déroule dans un environnement ambiant
2. La surveillance et l'analyse de « déviation » dans le comportement
3. La découverte de processus routiniers

Enfin, pour faciliter l'acceptabilité du système, nous avons dégagé certains critères nécessaires afin que le dispositif puisse être socialement adapté à cette population :

- Fiable et conforme aux besoins définis par les utilisateurs, puisque on cherche à garantir une relation de confiance entre le système et ces personnes, pour pouvoir les pousser à sortir de leur confinement à domicile et avoir une vie sociale ;
- Offrant une souplesse organisationnelle qui facilite la surveillance et l'accompagnement des usagers tout en respectant des propriétés éthiques (intimité, consentement, non intrusion, maintien de la relation sociale) ;
- Simple à utiliser, puisqu'il s'agit d'une population peu familière avec la technologie ;
- Discret (de préférence inaperçu pour ne pas se sentir différent).

## **1.5.2 Exigences à prendre en compte dans le choix de l'approche de C.C.U**

### **1.5.2.1 Différents points de vue à prendre en compte**

De nombreux systèmes ont été réalisés sans concertation sur l'acceptabilité [Vredenburg *et al.*, 2001, Czarnuch et Mihailidis, 2011, Beyer et Holtzblatt, 1997]. D'autre fois, des experts en Sciences Humaines et Sociales (SHS) ont été sollicités qu'une fois le système opérationnel. Dans les deux cas, les résultats sont souvent très insatisfaisants, car le système produit s'avère inadapté aux utilisateurs. Les systèmes d'assistance aux personnes âgées constituent des systèmes sociotechniques ambiants (SSTA, cf. chapitre 2) qui s'intègrent dans un réseau social constitué de médecins, aidants, famille... Il est évidemment nécessaire de prendre en compte les points de vue de ces acteurs, tout au long de la conception, si l'on souhaite garantir l'acceptabilité du système. Par ailleurs, des spécialistes en liaison avec les SSTA doivent être associés (SHS, informatique) tout au long du processus de conception.

Enfin, il est clair que l'acceptabilité, l'utilité et l'utilisabilité de tels systèmes exigent de prendre en compte en premier lieu le point de vue des utilisateurs.

### **1.5.2.2 Critères des approches de conception à prendre en compte**

Les utilisateurs potentiels de notre système sont une source d'information inégalable et indispensable des premières phases de la conception et particulièrement pour la

définition des besoins. Cependant, il ne faut pas perdre de vue que les utilisateurs potentiels, issus d'une population vulnérable, peuvent éprouver des difficultés à exprimer leurs besoins et à les expliquer, et ils peuvent encore être réticents aux nouvelles technologies<sup>1</sup>. En même temps, ils aiment être au cœur de l'action et il est utile de les impliquer à chaque étape du projet, pour garantir l'acceptabilité technique et sociale du produit à réaliser et éviter un effet tunnel<sup>2</sup>. Ce point a été confirmé par Mitzner et Roger qui ont affirmé que l'inclusion des personnes âgées dans le processus de conception permet d'accroître leur degré d'acceptation [Mitzner et Rogers, 2010].

Cette participation continue des utilisateurs ne doit pas être trop active du fait de l'âge de nos utilisateurs. Chacune des approches examinées (empathique, participative et contextuelle) pourrait être celle adoptée, chacune ayant ses avantages et ses inconvénients. Aussi, il est nécessaire de les adapter ou les accompagner de techniques qui facilitent l'investissement des utilisateurs et qui soient réalistes et possibles dans l'environnement organisationnel considéré. La conception participative qui associe le mieux les utilisateurs, exige un engagement et un investissement important de l'utilisateur qui peut être difficile pour des personnes âgées. Il faut qu'elle puisse être diluée dans le temps et que certaines étapes puissent être présentées de manière ludique en combinant, par exemple, des personas et des scénarios. La conception contextuelle risque de passer à côté de certaines innovations de fait de ses techniques directives. Elle gagnerait en utilisabilité en ajoutant de la coopération dans ces différentes phases. Des techniques de brainstorming et une phase de maquettage pourraient aider dans ce sens. La conception empathique nous semble la plus aboutie pour la phase de recueil des exigences et la plus adaptée pour faire émerger des idées innovantes en collaboration avec les utilisateurs. Cependant, c'est une approche qui exige une phase importante d'observations qui peut être coûteuse en moyens humains et techniques.

Le choix d'une des approches exigera donc des compromis qui dépendront du contexte dans lequel le produit devra être déployé, l'investissement possible des utilisateurs et des moyens que le commanditaire du projet sera en mesure d'apporter. Il est aussi à souligner que chacune des approches peut être adaptée en y apportant davantage de collaboration, en simplifiant son processus, ou en ayant recours à des techniques plus adaptées. Parmi les techniques qui nous semblent être les plus performantes, il faut mentionner les scénarios qui peuvent intervenir dans plusieurs phases du cycle de vie, dans toutes les approches et qui peuvent être combinés à d'autres techniques. Les personas sont également un

---

1. Cette tendance n'aura plus lieu d'être dans quelques années. Les nouveaux retraités sont déjà aujourd'hui des utilisateurs de ces technologies.

2. Il caractérise une situation où les utilisateurs ne sont pas associés à la conception du projet et peuvent ne pas adhérer au produit final qu'ils jugent éloigné des besoins qu'ils ont exprimés.

outil puissant pour personnaliser les utilisateurs potentiels et avoir un outil commun et partagé d'aide à la conception. Enfin, le maquettage et prototypage itératifs sont aussi pour nous des techniques inévitables pour conduire à l'adhésion des utilisateurs pour peu que ces derniers soient associés à leur évaluation.

## 1.6 Conclusion

Ce chapitre a montré la diversité des approches de conception centrée utilisateur (CCU) et la place centrale des critères d'utilisabilité et ceux d'utilité et d'acceptabilité qui en découlent. Trois approches ont été mises en évidence du fait de leur relative adéquation avec la CCU.

Il n'existe pas de meilleure approche mais le choix de l'une d'entre elles dépend du contexte dans lequel elle doit être déployée, de la disponibilité des utilisateurs et des moyens techniques et financiers disponibles.

Ces approches sont accompagnées de techniques qui viennent en support. Nous retenons trois d'entre elles comme particulièrement efficace dans notre contexte d'applications : les scénarios, les personas, le maquettage et le prototypage.

Au final, il ressort que ces approches apportent des processus, des techniques et une philosophie de conception qui mettent l'utilisateur au centre de la conception et qui s'intéressent au « pourquoi » et « pour qui » de la conception. La conception complète d'un logiciel qui passe par des maquettes et des prototypes exigent aussi de se questionner sur le quoi (fonction du logiciel, son comportement et ses composants) et donc de faire appel à des méthodes de conception classiques également.

Dans notre contexte de Systèmes Socio-Technique Ambiant qui se déploie en univers multi-agent, il sera donc utile d'examiner aussi des méthodes de conception de systèmes multi-agents et de voir comment elles peuvent se combiner avec ces approches participatives. Nous examinerons ce point au chapitre 3.

# 2

---

## Systèmes d'assistance ambients intelligents

### 2.1 Introduction

L'objectif de ce chapitre est de présenter un état de l'art des systèmes ambients et en particuliers ceux utilisés pour l'assistance aux personnes ayant des déficiences cognitives.

La *section 2* définira les systèmes intelligents ambients (SIA), leur historique, leurs caractéristiques et leurs critères de différenciation. L'intelligence ambiante exploite des technologies avancées d'Intelligence Artificielle (IA) pour concevoir de tels systèmes.

Nous expliquerons, dans la *section 3*, l'intérêt de concevoir de tels systèmes par une approche multi-agent et de les doter d'apprentissage pour leur permettre de s'adapter à leur environnement.

La *section 4* comparera quelques systèmes ambients d'assistance et dressera un tableau comparatif de ces systèmes ambients d'assistance (appelés Ambient Assisted Living systems AALs).

Enfin, en *section 5*, nous exposerons nos conclusions et dégagerons quelques perspectives qui conduiront à notre proposition.

### 2.2 Systèmes Intelligents ambients

#### 2.2.1 Historique et définition des SIA

Nos lieux de vie ont évolué en intégrant un nombre croissant de dispositifs interconnectés (capteurs, actionneurs, GPS, Smartphone...) [Waldner et Waldner, 2007] et pour certains mobiles. Alors que le coût et la taille de ces dispositifs ont diminué, leur puissance et leur capacité de stockage ont augmenté. De plus, du fait de leur ergonomie et de

leur interface, certains dispositifs sont maintenant facilement accessibles et manipulables aussi bien par des enfants que par des personnes âgées.

L'un des objectifs de ces dispositifs interconnectés est de faciliter la vie des personnes en leur apportant assistance et confort (régulateur de température, proposition de trajet optimal...).

Dans ce contexte, des lieux spécifiques (pièce, bâtiment, voiture, rue ou parc), équipés de ces dispositifs, peuvent rendre des services immédiats à des individus (maison intelligente [Helal *et al.*, 2005, Yamazaki, 2007] mais également surveiller des lieux collectifs (parc, métro, ...) et transmettre les données collectées à des services d'assistance distants.

Les protocoles tels que Bluetooth et Zigbee qui permettent la connexion sans fil, et l'omniprésence de connexion internet ont fait que ces dispositifs et systèmes connectés en plus d'être mobiles sont devenus discrets (voir enfouis) et accessibles sur des espaces étendus (parc, campus, ville...).

Cette informatique dite ubiquitaire [Weiser *et al.*, 1999, Weiser, 1994], mise à disposition des personnes d'une manière non intrusive, a ensuite évolué vers l'intelligence Ambiante IA (Ambient Intelligence) 1991 [Weiser, 1991] qui enrichit les fonctions de perception, de décision et d'action de ces systèmes par des techniques d'intelligence artificielle. Il s'agit notamment de doter ces systèmes de capacité d'interprétation, d'anticipation (pro-activité) et d'adaptation, ce qui suppose des capacités de raisonnement à partir des données perçues et des connaissances sur l'environnement et les acteurs humains impliqués.

Compte tenu de ces caractéristiques, il est clair que les systèmes ambiants peuvent apporter de l'assistance aux personnes âgées. De fait, divers systèmes intelligents ambiants (SIA) ont été conçus pour aider les personnes âgées dans leur vie quotidienne (à l'intérieur comme à l'extérieur), augmenter leur autonomie ou renforcer leur intégration sociale. On peut ainsi mentionner les systèmes de suivi à domicile, de détection des chutes ou de géolocalisation [Dubowsky *et al.*, 2000, Eklund *et al.*, 2005, Aghajan *et al.*, 2007, Fudickar et Schnor, 2009]...

Un système ambiant [Basten *et al.*, 2007] peut être plus précisément défini comme un ensemble d'entités (capteurs, actionneurs, logiciels) distribuées et en interaction, capables de percevoir, agir, communiquer et traiter des informations de son environnement pour offrir un service à une personne ou à un collectif. On parle également de Système Socio-Techique Ambiant (SSTA) pour intégrer le contexte social et organisationnel dans lequel le système est déployé (voir projet néo-campus [Gleizes *et al.*, 2017])

Les systèmes intelligents ambiants sont définis [Coutaz et Crowley, 2008], comme des systèmes « dotés de dispositifs intelligents, visant un bien-être individuel ou collec-

tif, capables de s'adapter face à des situations inconnues sans être conçus dans l'esprit d'uniformiser le monde mais plutôt tenir compte de sa diversité ».

Nous identifions dans cette dernière définition la capacité d'adaptation, la personnalisation du service offert et le fait que le SIA soit finalisé puisqu'il poursuit un but : le bien être de ses utilisateurs. La finalité est quelque fois remise en cause [Serugendo *et al.*, 2011] par certains auteurs qui considèrent que l'on peut composer un service global non défini à priori mais émergent/opportuniste à partir de services de base.

## 2.2.2 Les systèmes ambiants d'assistance

Les SIA ont été appliqués dans plusieurs domaines tels que la santé [Hodgins *et al.*, 2008, Anliker *et al.*, 2004], le transport public [Patterson *et al.*, 2004, Di Rienzo *et al.*, 2005], les maisons intelligentes [Helal *et al.*, 2005, Yamazaki, 2007, Andoh *et al.*, 2003], etc. Dans cette thèse, nous nous intéressons aux SIA d'assistance, appelés systèmes ambiants d'assistance à la vie (Ambient Assisted Living AAL). Les systèmes AAL peuvent offrir plusieurs services [Lezoray *et al.*, 2010], [Rashidi et Mihailidis, 2013] dont :

- **La guidance cognitive** : qui a pour objectif d'aider les personnes ayant des troubles cognitifs à être plus autonomes (exemples : système de gestion de médicaments par rappel automatique, outils de réhabilitation cognitive, ...)
- **La détection d'urgence** : qui identifie des situations anormales nécessitant une intervention ou une alerte (exemple : détection de chute d'une personne âgée suivie de l'envoi d'une alerte à la famille,...)
- **La surveillance de la santé** : qui mesure des paramètres vitaux (pression artérielle, fréquence cardiaque ...)
- **L'assistance d'activités** : qui apporte du confort dans la vie quotidiennes...

Les activités assistées peuvent être classées en trois types [Rashidi et Mihailidis, 2013] qui sont :

- Activités de la vie quotidienne (activities of daily living **ADL**) : incluent les activités tels que se nourrir, s'habiller ...
- Activités de la vie quotidienne avec instruments (Instrumental activities of daily living **IADL**) : regroupent les activités qui exigent la manipulation d'instruments simples utilisés quotidiennement comme le téléphone, la télévision, le linge-vaisselle...
- Activités améliorées de la vie quotidienne (Enhanced activities of daily living **EADL**) : représentent les activités sociales auxquelles la personne peut participer comme aller au parc, rencontrer des amis...

Dans la suite, nous allons examiner les caractéristiques de différenciation des différents systèmes intelligents ambiants pour pouvoir comparer quelques systèmes ambiants représentatifs de l'état de l'art.

### 2.2.3 Les critères de différenciation des systèmes intelligents ambiants

L'intelligence ambiante vise à offrir des services intelligents (adaptatifs, sensibles au contexte, proactifs...), capable d'interagir de manière adaptée dans un environnement hétérogène et dynamique. Outre l'ubiquité, l'attentivité (perception permanente de l'état de l'environnement et des événements qui s'y produisent) et l'interaction dite « naturelle » (implicite, multi-modale et incluant la reconnaissance vocale et gestuelle) que l'on retrouve comme des propriétés récurrentes de ces systèmes [Dujardin *et al.*, 2011], d'autres caractéristiques constituent des critères de différenciation de SIA dont certaines demeurent encore aujourd'hui des défis. Parmi ces caractéristiques, nous avons retenus de mettre en avant les cinq suivantes qui ont un intérêt tout particulier pour les AAL :

1. L'aptitude à se déployer dans un **environnement ouvert**. En plus d'être distribué, un SIA doit pouvoir accepter l'arrivée ou le départ d'un nouveau dispositif et en conséquence s'adapter voir se reconfigurer selon la situation. Dans notre contexte, du fait du déplacement en extérieur de l'utilisateur, cette caractéristique est souhaitable puisque les dispositifs (capteurs, actionneurs) peuvent varier selon la localisation de l'utilisateur.
2. **L'interopérabilité** désigne la capacité d'échanger et de se comprendre pour les différents dispositifs composant le SIA [Miori *et al.*, 2006]. Cette exigence provient de l'hétérogénéité des dispositifs réalisant des tâches différentes (percevoir, communiquer, traiter des informations) et devant être coordonnés à l'aide de protocole (langage et procédé) ;
3. **La sensibilité au contexte** : Les SIA doivent pouvoir discerner et détecter des situations différentes et adapter leur comportement en conséquence afin d'assister au mieux l'utilisateur et répondre de manière personnalisée à leurs besoins. La sensibilité au contexte a été introduite pour un système de localisation par Schilit [Schilit *et al.*, 1994]. [Boukharrou *et al.*, 2015] en donne une typologie et une exploitation qui sont intéressantes dans le cadre des SIA. Nous détaillerons cette caractéristique au chapitre 4. Il faut cependant noter, que dans le cadre des AAL, le contexte spatio-temporel, par exemple, est crucial car de nombreuses actions en dépendent (prise de médicament, l'utilisation d'un moyen de transport, l'accès à un rendez-vous...).
4. **L'adaptation** désigne la capacité d'un SIA à faire face à des perturbations ou des situations imprévues. L'adaptation consiste alors à réaliser des actions pour



maintenir ou améliorer les fonctionnalités du système face à ces situations. L'adaptation peut aussi anticiper une situation : si un dispositif est sur-utilisé, il peut être judicieux de rééquilibrer les charges en exploitant d'autres dispositifs équivalents et ainsi éviter une panne du SIA. Les actions à réaliser peuvent être gérées par de règles prédéfinies ou émergentes i.e. issues d'un apprentissage.

## 2.3 L'apport de l'intelligence artificielle pour les SIA

Le fonctionnement d'un SIA, ses services et plusieurs des caractéristiques énumérées en section 2.2.3 exigent d'exploiter des techniques issues de l'Intelligence Artificielle. Rappelons que le but de l'Intelligence Artificielle (AI) est de doter les machines des capacités habituellement attribuées à l'intelligence humaine [Rialle, 1996] telles que la perception, le raisonnement ou l'apprentissage... Ces capacités permettent de détecter des événements, analyser des scènes ou des comportements pour aider à prendre des décisions et peuvent ainsi assister les utilisateurs dans des environnements complexes et évolutifs. Elle a de nombreuses applications telle que la vision, la réalité virtuelle, la robotique, les systèmes experts qui peuvent avoir des utilisations dans notre contexte applicatif. Différentes techniques issues de ces domaines peuvent être combinées pour guider, assister ou surveiller des personnes âgées.

Nous développerons ici deux sous-domaines de l'IA particulièrement pertinents dans notre contexte applicatif : les systèmes multi-agents et l'apprentissage.

### 2.3.1 Intérêt des Systèmes multi-agent

Les systèmes multi-agents ont un double avantage dans notre contexte applicatif. Au niveau macro, ils permettent de construire des systèmes distribués et coopératifs. Leur coopération permet la réalisation d'une tâche ou la poursuite d'un objectif commun. Au niveau micro, la technologie agent permet d'envisager chaque dispositif comme une entité autonome dotée d'une mission et capable de la réaliser en coordination avec d'autres.

#### 2.3.1.1 Faire coopérer des entités distribués

[Chaib-Draa et Levesque, 1994] définit un Système Multi-Agent (SMA) comme «un système distribué composé d'un ensemble d'agents interagissant». Il ressort de cette définition un élément essentiel et fondateur des systèmes multi-agents, celui de l'interaction. Les interactions dans un SMA permettent aux agents de participer à la réalisation d'un but global. Dans la littérature, trois formes d'interaction sont distinguées :

**La coopération** désigne une situation où un groupe d'agents travaillent ensemble

pour résoudre un but commun. D'une manière générale, les agents coopèrent parce qu'ils ont besoin de partager des ressources ou/et bien des compétences pour accomplir leurs objectifs ;

**La coordination** [Hanachi, 2003] désigne l'organisation du travail des agents afin d'éviter les interactions négatives et favoriser les interactions utiles. Certaines situations de coopération exigent que les agents se coordonnent pour réaliser leur but global commun. Des mécanismes de coordination de haut niveau (protocoles, structures organisationnelles, négociation. . .) ont été élaborés et peuvent être exploités. Ces techniques de coordination apportent de la dynamique au SMA. Ainsi, les protocoles comme les structures organisationnelles permettent à un agent de sélectionner ses accointances et de former des groupes de manière dynamique selon son activité. On peut à ce titre mentionner le protocole « Contract Net » [Smith, 1980] qui permet de sélectionner des accointances par appels d'offres, et également le modèle organisationnel AGR (Agent Groupe Role), proposé par [Ferber et Gutknecht, 1998], qui permet d'attribuer dynamiquement (c'est-à-dire en cours d'exécution) des rôles à chaque agent de l'architecture et de structurer leurs interactions selon des protocoles pré-définis.

**La communication** désigne les échanges d'informations entre agents. La communication rend la coopération ou la coordination possible. Des langages à base de performatifs (FIPA-ACL par exemple) ont été élaborés et permettent aux agents de communiquer à un haut niveau et en se basant sur une ontologie commune qui permet de résoudre en partie des problèmes d'hétérogénéité sémantique.

Dans notre contexte applicatif, un SIA étant intrinsèquement distribué (capteurs, effecteurs, utilisateur, famille. . .), le paradigme multi-agent apporte alors une représentation adéquate et ces mécanismes d'interaction de haut niveau permettant collectivement de surveiller l'environnement, guider l'utilisateur et/ou résoudre des problèmes.

### 2.3.1.2 Doter les entités de capacités de raisonnement et d'aptitudes sociales

La conception d'un SMA peut être envisagée à partir de zéro ou en intégrant des dispositifs existants que l'on peut « agentifier » c'est-à-dire doter de capacités évoluées pour leur permettre de se comporter comme un agent. [Ferber, 1995] définit un agent comme «une entité autonome, réelle ou abstraite, qui est capable d'agir sur elle-même et sur son environnement, qui, dans un univers multi-agents, peut communiquer avec d'autres agents, et dont le comportement est la conséquence de ses observations, de ses connaissances et des interactions avec les autres agents». Il ressort de cette définition des propriétés clés comme :

- L'autonomie qui signifie que l'agent doit être capable d'agir sans l'intervention

directe d'un tiers (humain ou agent), de contrôler ses actions et ainsi que son état interne en fonction d'informations en provenance de l'environnement. Alors qu'un objet répond aux invocations de méthodes, on considère qu'un agent rend des services et possède une procédure de décision qui lui permet de décider et négocier quand, comment et à qui rendre un service en fonction d'objectifs ;

- La capacité de percevoir, de raisonner et d'agir qui constitue le cycle de base d'un agent : l'agent doit être capable de percevoir les différentes situations d'interaction, de raisonner sur les actions possibles et d'agir en conséquence. Selon la finesse de chacune de ses capacités, on disposera d'agents plus ou moins sophistiqués (du réactif au cognitif).

Dans la littérature, d'autres définitions [Jennings et Wooldridge, 1998] mettent également en évidence d'autres propriétés clés :

- les aptitudes sociales désignent la capacité d'un agent à interagir avec les autres agents de façon coopérative ou compétitive pour atteindre ses objectifs en exploitant des techniques d'interaction de haut niveau (cf. section 2.3.1.2) ;
- La pro-activité désigne l'aptitude d'un agent à se fixer des buts pour atteindre ses objectifs sur sa propre initiative ;
- La capacité d'apprentissage désigne l'aptitude d'un agent à mémoriser ses expériences et à adapter son comportement en conséquence.

### 2.3.1.3 L'architecture BDI comme architecture de référence des agents cognitifs

Un système multi-agents peut être composé d'agents hétérogènes dont le comportement peut varier depuis les agents réactifs, répondant à des stimuli, jusqu'à des agents cognitifs capables de délibération pour décider par eux même des actions à entreprendre en fonction de la situation. Nous allons ici présenter l'architecture BDI qui décrit un comportement d'agents cognitifs qui, avec quelques variantes, sont à même d'intervenir dans notre cadre applicatif et permettent d'illustrer de nombreuses propriétés évoquées dans la section précédente. L'architecture BDI (Beliefs-Desires-Intentions) est fondée sur les quatre concepts suivants [Politechnica University, 2002] :

**Les croyances (Beliefs)** d'un agent sont les informations courantes que l'agent possède sur l'environnement et sur d'autres agents présents dans le même environnement. Les croyances peuvent évoluer dans le temps en fonction de nouvelles perceptions ou interactions avec d'autres agents ; Dans notre contexte, il peut s'agir de la connaissance du temps « il fait beau », de l'heure « il est 14 heures », d'une situation « les musées, les jardins et les cinémas sont ouverts et l'amie Jeanne est libre ».

**Les désirs (Desirs ou goals)** d'un agent représentent les états de l'environnement ou de lui-même, que l'agent aimerait voir atteints, si possible (exemple : « rejoindre son amie Jeanne », « réaliser une activité avec son amie Jeanne »). Tous les désirs d'un agent ne sont pas nécessairement consistant ni réalisable simultanément ;

**Les intentions** d'un agent sont "les désirs que l'agent a décidé d'accomplir ou les actions qu'il a décidé de faire pour accomplir ses désirs". Par exemple ici «réaliser une activité avec son amie Jeanne ».

**Les plans** sont des connaissances qui concernent l'ensemble des actions qu'il faut entreprendre pour atteindre un but (désir). Le plan effectivement choisi et mis en œuvre correspond à une intention. Le plan peut intégrer comme condition le contexte et lui associer les actions à réaliser. Dans notre exemple, cela peut donner des plans différents pour aller « au cinéma », dans « un jardin » ou « un musée ». Le temps, l'heure et la position de l'agent peuvent être des éléments de contexte privilégiant un plan plutôt qu'un autre. S'il pleut, il peut être recommandé de mettre en œuvre un plan permettant d'aller au cinéma.

Le schéma classique d'une architecture BDI est le suivant.

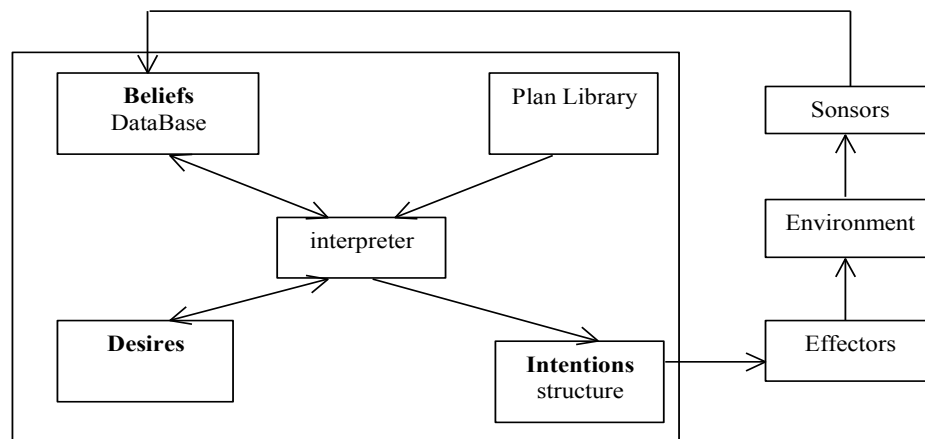


Figure 2.1 – Architecture BDI d'un agent (Figure extraite de [Kinny *et al.*, 1996])

Sur la base de ces concepts, un agent BDI fonctionne selon le cycle suivant. Il doit tout d'abord mettre à jour ses croyances en fonction de ses nouvelles perceptions, réviser éventuellement ses désirs, compte tenu des nouvelles croyances, confirmer ou choisir une nouvelle intention, réaliser le plan correspondant à cette intention qui transformera l'environnement, et ainsi de suite. Bien que sophistiquée, cette architecture ne prend pas en compte l'apprentissage puisque les contextes et les plans sont pré-établis et il n'y a

pas de structure qui permette de mémoriser des situations d'échecs et de faire évoluer les plans en conséquence. Il faut cependant citer le travail de Singh et al. [Singh *et al.*, 2011] étendant l'architecture BDI pour y intégrer de l'apprentissage.

### 2.3.2 L'apport de l'apprentissage artificiel pour l'intelligence ambiante

L'apprentissage artificiel (machine Learning) a pour objectif de produire des machines (programme, robot) capables d'améliorer leur performance à partir d'expériences [Mitchell, 2006]. Ces programmes peuvent ainsi s'adapter à l'environnement et effectuer des tâches complexes : recommander des activités (par exemple en fonction du contexte spatio-temporel), jouer aux échecs, prédire un événement (chute d'une personne, météo...), diagnostiquer un état (maladie, désorientation...) ou reconnaître une activité, un individu ou un objet (cuisiner, le visage d'un ami, des médicaments sur une table...). L'apprentissage artificiel est une composante essentielle de l'IA car il permet d'obtenir des comportements intelligents. En même temps, il se base sur des fondements théoriques nombreux : statistique, probabilité, biologie, logique... [Mitchell *et al.*, 1997] définit un problème d'apprentissage artificiel par un triplet  $\langle E, P, T \rangle$  où :

- $E$  désigne une expérience, c'est-à-dire une entrée (exemples) et éventuellement une sortie (comportements désirés, diagnostics...). Par exemple, pour reconnaître la dangerosité d'un champignon, l'expérience est la description d'un ensemble de champignons (taille, couleur, odeur, poids...) avec leur classification (dangereux, comestible, mortel...).
- $T$  désigne les tâches à réaliser. Dans le cas des champignons, il s'agit de savoir reconnaître et classer un champignon.
- $P$  désigne la mesure de la performance à améliorer. Dans notre exemple, Il peut s'agir du pourcentage de champignons bien classés en y intégrant éventuellement la rapidité du classement.

La conception d'un algorithme d'apprentissage peut se baser sur une fonction d'évaluation (cible) qui associe un score à chaque état atteint, après la réalisation d'une tâche ou une séquence de tâches. En prenant l'exemple de l'apprentissage du jeu d'échecs [Mitchell *et al.*, 1997], si  $P$  peut correspondre au pourcentage de parties gagnés, la fonction d'évaluation quant à elle peut être une estimation de la qualité de la configuration du jeu pour le joueur apprenant. Elle a une valeur (dans notre exemple : fonction du nombre de pièces adversaires prises, menacés...) qui peut être calculée après chaque mouvement ou séquence de mouvements au sein d'une partie.

On distingue trois familles d'apprentissage qui diffèrent par leur approche et par le type de problème qu'elles traitent : l'apprentissage supervisé, l'apprentissage non supervisé et l'apprentissage par renforcement [Cornuéjols et Miclet, 2011].

### 2.3.2.1 Apprentissage supervisé

Cette famille d'apprentissage permet d'apprendre à partir d'un ensemble d'exemples étiquetés et validés, c'est-à-dire pour lesquels on dispose de couples (entrée, sortie/résultat). Ce type d'apprentissage suppose donc une connaissance à priori des résultats attendus sur les exemples d'apprentissage. Ensuite l'apprenant sera confronté à un ensemble de tests où il devra prédire, grâce au modèle appris, les résultats correspondant à des entrées inconnues. Cette famille d'apprentissage est utilisée pour réaliser de la prédiction, du diagnostic ou de la classification.

Dans le contexte applicatif qui nous intéresse dans cette thèse, ce type d'apprentissage peut aider à détecter des anomalies dans le comportement d'une personne âgée selon le type d'enchaînement des activités, le temps consacré et le moment choisi pour les faire. La détection de la désorientation peut également être réalisée par une classification des formes des trajets parcourus par une personne. Cette famille d'apprentissage peut être implémentée par divers algorithmes ou techniques tels que les arbres de décision ou les réseaux de neurones.

### 2.3.2.2 Apprentissage non supervisé

L'apprentissage non-supervisé opère sur un ensemble d'exemples non étiquetés, c'est-à-dire où figurent des entrées mais pas de sorties (résultats). Il s'agit de trouver des relations (règles d'association, corrélation) ou des similitudes entre les données pour les structurer en groupes (clustering). Le regroupement (clustering) consiste à construire des classes d'objets et à y positionner des objets. Une classe regroupe alors des objets partageant des caractéristiques communes. Un enfant peut ainsi se construire une image mentale (modèle) de ce que sont les oiseaux, les chiens, les chats ou les poissons (en fonction de leurs mode de déplacement, lieu de vie, morphologie...), de les distinguer et de classer tout nouvel animal rencontré dans une de ces classes. Plusieurs classes d'algorithmes implémentent le clustering : K-moyennes, hiérarchiques... Ils se basent souvent sur le calcul de similarité entre objets et peuvent exploiter des calculs de distance ou de densité. Dans la recherche de règles d'associations, on peut citer l'algorithme « Apriori » [Agrawal *et al.*, 1994].

Dans notre contexte applicatif, cette approche peut être exploitée pour apprendre à associer des activités qui peuvent se faire sur des lieux proches et dans un certain ordre et qui peuvent être formalisés comme des bonnes pratiques. Par exemple sur Toulouse, après une promenade au jardin des plantes il peut être recommandé de se reposer et se désaltérer au café du Museum d'Histoire Naturelle. Ce type de règles peut être déduit en s'appuyant sur une analyse des actions réalisées par une population de personnes âgées. La collecte de ces données peut être réalisée par les commentaires postés sur un réseau

social et la localisation GPS de leur auteur (cf. expérimentation réalisée à Beijing dans [Zheng *et al.*, 2010]).

### 2.3.2.3 Apprentissage par renforcement

Ce type d'apprentissage, appelé aussi apprentissage par interaction, a pour but d'apprendre un comportement dans un environnement déterminé afin d'atteindre un objectif donné. Il consiste à apprendre à partir d'actions réalisées dans cet environnement et des évaluations reçues en retour.

A partir de ses perceptions de l'environnement, l'apprenant réalise une ou plusieurs actions qui modifient l'état de l'environnement dont il reçoit une évaluation (positive : récompense ; négative : pénalité).

A partir des évaluations reçues, l'apprenant modifie son comportement pour essayer d'améliorer son évaluation. Face à un état donné, l'apprenant peut choisir entre une action déjà proposée dans la même situation et qui a reçu la meilleure évaluation, ou une nouvelle action pour tester une alternative. En d'autres termes, l'apprentissage par renforcement apprend à associer des actions à certains états (ou situations) en essayant de maximiser l'évaluation à long terme.

Un système d'apprentissage par renforcement est constitué de trois composants : la politique, la fonction de récompense et la fonction de valeur. La politique est la fonction à découvrir et qui associe à chaque état l'action à exécuter. La fonction de récompense associe à un couple (état, action) un nombre qui évalue la préférence accordée à cette action dans cet état. Dans certaines approches, elle mesure seulement l'utilité d'être dans un état. La fonction de valeur décrit la « promesse » d'un état donnée : estimation de la récompense cumulée possible à partir de cet état.

On peut également distinguer les méthodes d'apprentissage par renforcement par le fait qu'elle possède un modèle ou non de l'environnement. Le modèle de l'environnement signifie la connaissance de l'ensemble des états, des transitions entre états ainsi que la fonction de récompense. Il existe plusieurs méthodes ou algorithmes implémentant l'apprentissage par renforcement : Dyna, méthode Monte Carlo, Sarsa-Learning ou le Q-Learning [Gemayel, 2013].

Dans le contexte applicatif qui nous concerne, il n'est pas possible d'avoir un modèle de l'environnement qui est par définition dynamique et ouvert puisqu'il s'agit d'accompagner des personnes âgées dans leurs activités quotidiennes à l'extérieur avec ce que cela comporte d'incertitude dans l'environnement et d'imprévu et d'improvisation dans les actions possibles de l'apprenant.

### 2.3.2.4 Quel type d'apprentissage pour le SIA ?

Les SIA couvrent une large gamme de fonctionnalités et chacune des approches d'apprentissage a des applications possibles dans ce domaine comme nous l'avons montré à travers des exemples divers dans les trois sections précédentes. Dans le contexte plus précis qui nous intéresse «accompagner des personnes âgées dans leurs activités quotidiennes à l'extérieur », l'apprentissage par renforcement est le plus adapté car il permet d'apprendre des comportements non connus d'avance et de plus dans un environnement ouvert et imprédictible et donc difficilement modélisable. Ceci étant posé, il faut également préciser que nous nous situons en univers multi-agent et que se pose le problème de comment l'apprentissage par renforcement peut se faire dans cet univers [Gemayel, 2013, Panait et Luke, 2005]. En fonction des buts des agents, on peut être soit dans un contexte coopératif où tous les agents cherchent à atteindre le même objectif ou au contraire dans un cas compétitif où chaque agent a son propre but et empêche les autres d'atteindre le leur. Il existe bien sur des contextes intermédiaires. Nous nous situerons ici dans un contexte coopératif où l'on vise le bien être de la personne assistée. Il se pose cependant à nouveau des choix sur la distribution de l'apprentissage.

On distingue dans ce contexte deux catégories d'apprentissage [Panait et Luke, 2005] :

- **Apprentissage en équipe (team learning)** où il s'agit d'apprendre un comportement collectif qui consiste à bien se coordonner (communiquer efficacement, s'auto-organiser). Le seul apprenant est l'organisation ;
- **Apprentissage concurrent (concurrent learning)** où chaque agent est doté de son propre module d'apprentissage et apprend en parallèle avec les autres.

Nous préférons pour notre contexte applicatif une approche par équipe car elle se focalise sur l'efficacité de l'organisation plutôt que celles des individus (dispositifs, acteurs humains,...) même si elle peut engendrer des espaces d'états volumineux du fait des combinaisons possibles des états des différents agents. Nous exploiterons donc plus une approche d'apprentissage par renforcement multi-agent et par équipe. Nous opterons (cf. chapitre 4 section 4.2.2) pour des agents de type AMAS (Adaptive Multi-Agents System) qui offre un cadre pertinent car ils proposent une conception de SMA basée sur des interactions coopératives et l'auto-organisation.

## 2.4 Les Systèmes Ambiants d'assistance actuels

Dans cette section, nous examinons en détail les systèmes AAL (Ambient Assisted Living ) qui nous sont apparus les plus représentatifs de l'état de l'art, couvrant le mieux possible les caractéristiques définies précédemment (hétérogénéité, ouverture, adaptation et sensibilité au contexte, ...), et aussi les plus proches de nos travaux en terme de



population cible et fonctions visées.

Nous présentons brièvement la fonction de chacun des systèmes et concluons par un tableau comparatif que nous commentons.

#### 2.4.1 Aperçu des fonctions de quelques systèmes ambiants d'assistance

**AMON** (Advanced care and alert portable telemedical MONitor) [Anliker *et al.*, 2004] est un système portable de surveillance médicale et d'alerte.

Alors que la majorité des dispositifs sont utilisés dans le marché du sport et des loisirs, AMON est destiné aux patients atteints de maladies cardiaques et respiratoires à haut risque.

Ce dispositif vise à assurer un suivi médical continu des patients. Le système combine la mesure multi-paramétrée continue de signes vitaux, l'analyse d'activité en ligne et la détection d'urgence qui sont communiqués à un centre de télé-médecine. Plus précisément, il offre les services, interfaces et dispositifs suivants :

- la surveillance multi-paramètres : Il est capable de mesurer la pression artérielle, le taux d'oxygène dans le sang (SpO2) et une dérivation d'électrocardiographie (ECG) avec une interface permettant l'ajout de capteurs extérieurs ;
- la reconnaissance d'activités : Corrélant des valeurs du capteur d'accélération et les signes vitaux, le système détecte les niveaux d'activité de l'utilisateur ;
- l'analyse en-ligne : Les mesures détectées sont analysées et présentées en temps réel pour l'utilisateur et le centre de télé-médecine ;
- La détection d'urgence : En se basant sur les mesures en ligne du système, le profil des patients et le niveau d'activité de la personne, le système détecte les urgences ;
- Une interface de communication flexible : Il procure une ligne directe avec le centre de télé-médecine et offre également la possibilité de communication par SMS.
- Dispositif à poignet discret : Considérant l'usage quotidien, tous les capteurs ont été assemblés dans un dispositif porté au poignet pour éviter toutes gênes.

La conception orientée utilisateur n'a été prise en compte qu'en phases de design et de test du dispositif. AMON offre des paramètres de calibrage personnalisables par le fournisseur de soins de santé en fonction de l'âge, du sexe et des antécédents médicaux du patient. De plus, la performance du système a été validée par essais médicaux réalisés sur 33 patients.

En résumé, les points positifs du prototype AMON est qu'il est discret, ouvert, personnalisable et assure une surveillance multi-paramétrées et une analyse en ligne des données.

**WEALTHY** (A Wearable Health Care System) [Fudickar *et al.*, 2011] est un système de soins de santé portable, basé sur des capteurs intégrés dans un vêtement, pour des personnes touchées par des maladies cardiovasculaires, en particulier lors de la phase de la réadaptation. La figure 2.2 présente les principaux modules de fonctions de WEALTHY qui sont la détection, le conditionnement du signal, le traitement du signal et la transmission de données.

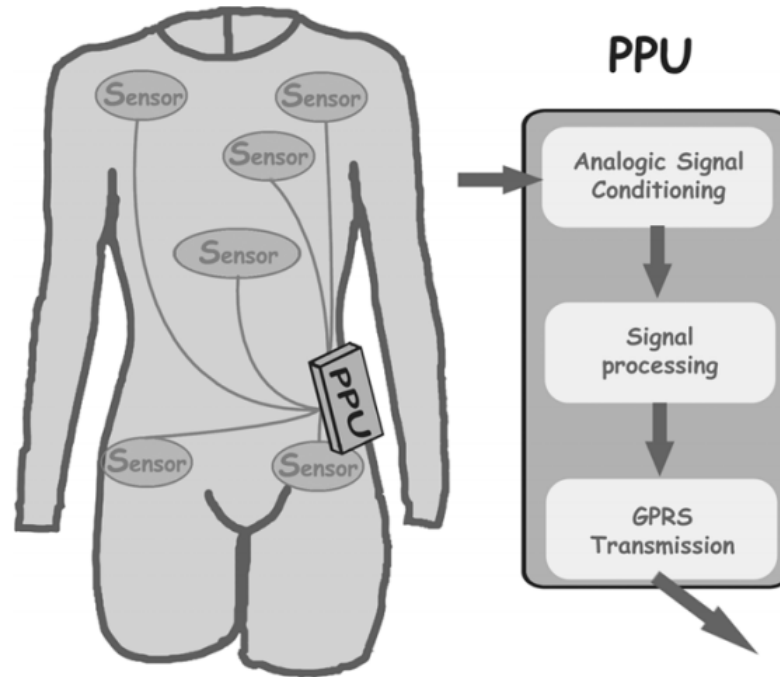


Figure 2.2 – Les composantes du système Wealthy (Figure extraite de [Fudickar *et al.*, 2011])

Ce vêtement en tissu intègre des capteurs, des électrodes et un bus de communication de façon discrète, basées sur des technologies flexibles conformes au corps humain. Il permet de collecter plusieurs signaux biomédicaux (i.e. l'électrocardiogramme, la respiration, l'activité) qui seront transmis sans fil du PPU (Portable Patient Unit) au système de surveillance à distance. Cela garantit une mobilité totale et un confort à l'utilisateur. L'enregistrement simultané des différents signaux physiologiques fournit une vue intégrée des schémas d'activité (normaux et anormaux) difficiles à détecter en enregistrant chaque signal à des moments différents. Par ailleurs, Wealthy laisse le patient effectuer des activités quotidiennes normales sans gêne tout en étant surveillé par un spécialiste. Aucune information n'est fournie par les auteurs sur l'approche suivie car l'objectif était avant tout de prouver la faisabilité d'un dispositif technique fiable et facile à porter.

Les deux dispositifs précédents appartiennent au domaine d'application de la surveillance de la santé et se basent sur des capteurs portables qui assurent une surveillance continue de la santé de leur utilisateur et peuvent ainsi détecter les situations d'urgence et prévenir les spécialistes de santé sans beaucoup gêner les patients. Ces dispositifs demeurent cependant réactifs (pas d'anticipation et/ou pro-activité), peu évolutifs et limités à la surveillance de la santé.

**OutCare** [Wan *et al.*, 2011] est un système multi-agent sous forme d'une application Android possédant une interface personnalisable pour les personnes ayant des déficiences cognitives, spécifiquement des patients atteints de la maladie d'Alzheimer qui sont à un stade précoce de la maladie et qui montrent des comportements imprévisibles d'incapacité à reconstituer un parcours. Il est composé de trois applications :

- L'application patient : elle est installée sur un smart-phone qui contient un capteur GPS. Elle possède une interface simple à utiliser dont l'objectif est de connaître les déplacements de l'utilisateur ;
- L'application soignant : elle peut être déployée sur tout smart-phone connecté à internet. Elle permet localiser et renseigner l'état des patients. Le soignant peut aussi recevoir des alertes en cas de détection d'activités irrégulières du patient ou de sa localisation dans des zones dites dangereuses ;
- Le serveur OutCare : ce serveur permet aux soignants d'accéder à des services web comme la localisation du patient sur une carte géographique, l'ajout de nouveaux patients et de zones susceptibles d'être dangereuses et l'accès au profil des patients pour voir leurs routines, activités...

Pour résumer, OutCare permet d'assister les utilisateurs dans leurs activités quotidiennes, d'apprendre leurs routines et de détecter les possibles déviations.

OutCare a été évalué, dans un premier temps, selon la satisfaction (confort et à l'acceptabilité du système) des utilisateurs potentiels. Cinquante-deux participants ont participé à cette évaluation, dont 27 hommes et 25 femmes, âgées de 17 à 60 ans. Les utilisateurs étaient très satisfaits avec la performance globale et 75% des sujets ont perçu OutCare comme étant très facile à utiliser et 92% des sujets ont réussi à terminer les tâches requises.

Dans un second temps, le potentiel du marché d'OutCare a été évalué. 54% des sondés le jugent définitivement nécessaire et 56% des sujets étaient prêts à payer pour le service fourni.

Les points forts de Outcare sont la distribution et l'ouverture du système puisqu'il peut intégrer d'autres capteurs pour mieux assister l'utilisateur. Cependant, on peut signaler deux faiblesses, l'avis des utilisateurs n'est pris en compte qu'en phase de tests et le système n'a pas de capacité d'adaptation selon les besoins des utilisateurs.

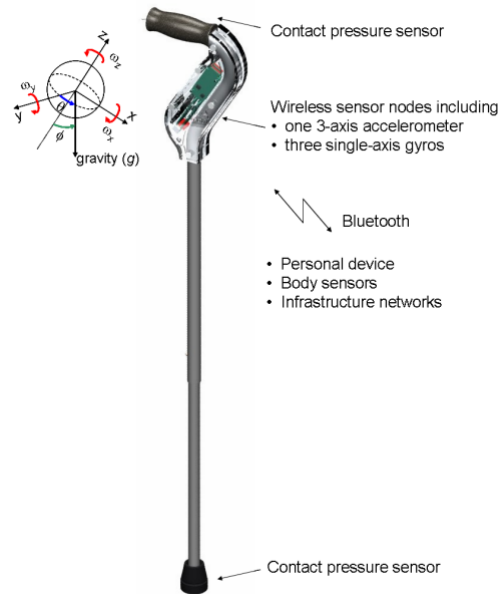


Figure 2.3 – La canne intelligente (Figure extraite de [Wu *et al.*, 2008])

**KopAl** [Fudickar et Schnor, 2009] est un système d’assistance des personnes âgées et ceux ayant une démence, à l’intérieur de leur domicile pour assurer leur autonomie. Il permet aussi de détecter des urgences et des rappels de rendez-vous.

Le système KopAL comprend les composants suivants :

- Des assistants mobiles inter-connectés via des connexions ad hoc WiFi
- Un serveur central qui gère un agenda partagé par les aidants et la personne âgée, via une interface web.

L’interface web utilisée est facile à manipuler et le dispositif d’assistance est discret et tactile pour répondre aux exigences des utilisateurs âgés qui ont une faible compétence technologique (peu familier avec les ordinateurs et les appareils mobiles) et physique (susceptible d’avoir quelques handicaps).

Les résultats étaient satisfaisants puisqu’ils permettent à une personne âgée d’éditer et créer son rendez-vous seul via une interface web tout en étant à la maison.

KopAl et OutCare limitent leur activité à une zone connue et limitée. Ils prennent en charge les problèmes liés à la désorientation en alertant le soignant si l’utilisateur sort de la zone couverte par le système ou des itinéraires préfixés et habituels. De plus, tous les deux exigent un serveur et une connexion pour pouvoir assurer l’assistance.

**SmartCane** [Wu *et al.*, 2008] qui combine l’usage des technologies du traitement du signal, de l’informatique embarquée et du réseau sans fil pour guider et surveiller les patients et réduire les risques de blessures et de chutes.

La canne intelligente est un système d'assistance intégré dans une canne (cf. Figure 2.3). Ce système d'assistance discret (La canne étant un objet du quotidien des personnes âgées) permet de faciliter l'autonomie et la mobilité de son utilisateur.

Elle vise à réduire les risques de blessures et de chutes ce qui représente l'objectif premier d'une canne. D'autre part, elle fournit des capacités de surveillance à distance, de traitement de signal local et d'envoi de feedback en temps réel.

Combiné avec un système de télé-santé, le système SmartCane vise à transporter les données collectées à partir des capteurs intégrés dans la canne (accéléromètre, gyroscope, capteur de pression...), aux serveurs centralisés de l'assistance médicale (via Bluetooth, Wi-Fi et radio), permettant aux soignants de surveiller l'utilisateur en temps réel et sur de longues périodes (jusqu'à 20 heures d'autonomie). Le point fort de SmartCane est qu'il est discret et utilisable à l'intérieur comme à l'extérieur.

**FoSIBLE** (Fostering Social Interactions for a Better Life of the Elderly) [Alaoui *et al.*, 2014] est une application AAL, basée sur un système de télévision intelligente, qui vise à accroître le bien-être et l'estime de soi des personnes âgées grâce à l'utilisation d'outils de communication et de partage via un réseau social. Il permet d'atténuer la solitude des personnes âgées afin de faire face à leur fragilité sociale.

Le système a adopté une conception participative et l'implication des utilisateurs finaux a été initiée dès le début du projet. Dix volontaires ont été recrutés : huit femmes et deux hommes âgés de 65 à 90 ans. Pour comprendre les besoins et les attentes des futurs utilisateurs finaux, des entrevues semi-structurées ont été réalisées pour pouvoir :

- Déterminer les changements sociaux provoqués par le passage à la retraite ;
- Trouver la liste des activités (Collectif ou individuel) de la vie quotidienne des participants ;
- Déterminer les moyens de communications utilisés pour garder le contact avec leur entourage (famille, proches et amis)
- Apprendre leur façon d'utiliser la télévision ;
- Déterminer leur degré d'utilisation d'Internet.

Fossible a été conçu en fonction des besoins exprimés par les futurs utilisateurs. Il est composé principalement d'un décodeur pour connexion Internet, une télévision intelligente et une tablette PC. Son but est de créer un réseau social entre des personnes âgées sur une smart TV (la télévision étant l'outil le plus utilisé par les personnes âgées) pour : s'informer et apprendre par la télévision et partager leurs commentaires et impressions avec d'autres sur les contenus des

programmes visionnés, partager virtuellement des jeux (mots croisés, bridge...) avec leurs parents et amis...

La Figure 2.4 montre l'interface qui permet à l'utilisateur de choisir entre quatre services (« Contacts », « Discussion », « Participer à des clubs » et « Rester en contact ») tout en regardant son programme. L'utilisateur peut connaître les utilisateurs visualisant le même programme et rentrer en contact avec eux pour échanger.

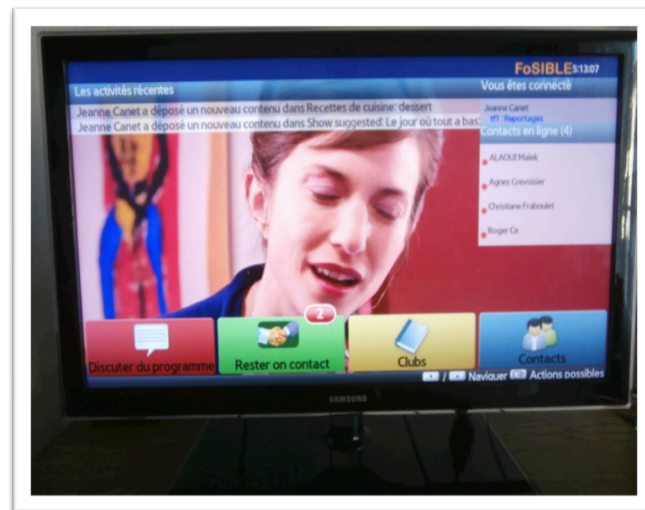


Figure 2.4 – Interface de Fosible (Figure extraite de [Alaoui *et al.*, 2014])

Fosible a permis d'améliorer la vie sociale de personnes âgées en aidant les utilisateurs à rester «Connecté» avec la famille et les amis grâce à une interface simplifiée sur une télévision. Fosible a plusieurs points forts qui le distinguent de la plupart des autres systèmes. Il offre des services qui permettent d'assister socialement une personne âgée en lui permettant de créer et maintenir une vie sociale, certes à domicile. Le dispositif est simple car intégré à un objet quotidien. Par ailleurs, les auteurs ont utilisé une approche de conception participative élaborée incluant les personnes âgées dès les premières phase de conception. Cela a permis d'avoir une meilleure compréhension des besoins des utilisateurs et par la suite un système adapté et accepté.

Il y a également des outils de guidance cognitive plus avancés, utilisant l'apprentissage artificiel et les techniques d'IA (Intelligence Artificielle).

**PEAT** (the Planning and Execution Assistant and Trainer) [Levinson, 1997] est un appareil qui tient dans une main et qui présente à la fois un calendrier

électronique et un carnet d'adresses. PEAT maintient un modèle détaillé du programme quotidien de son utilisateur en termes d'événements hiérarchiques (activités) et surveille leur réalisation «comme préparer un sandwich, payer les factures, ou la routine du matin»[Levinson, 1997]. Les points de choix sont associés aux activités pour spécifier des ressources et des activités alternatives. Les programmes d'activités peuvent être saisis par l'utilisateur ou par les soignants selon le niveau de dépendance de l'utilisateur.

Pour réaliser la planification, PEAT utilise le système de planification PROPEL (PROgram Planning and Execution Language) [Levinson, 1995], basé sur des techniques d'intelligence artificielle et initialement développé, par le NASA, pour des robots devant minimiser leurs interactions avec les humains.

Le point fort du système PEAT est la prise en charge intelligente de l'agenda avec une adaptation grâce à des alternatives possibles mais prédéfinies. L'utilisateur reste maître de son activité : PEAT est flexible et s'adapte. En revanche, il n'est pas ouvert sur des dispositifs extérieurs (manque d'ouverture) et ne se déploie pas dans un contexte ambiant.

**Autominder** [Pollack *et al.*, 2003a] fournit aux utilisateurs des rappels de leurs activités quotidiennes. Comme PEAT, il modélise le planning quotidien de son client et suit leur exécution.

Autominder est capable d'un comportement plus adaptatif et flexible, en observant le comportement de l'utilisateur, il prend des décisions et émet des rappels en cas de besoins.

Autominder permet d'adapter le calendrier de l'utilisateur selon ses habitudes et ses programmes (i.e. s'il doit rappeler une personne âgée souffrant d'incontinence urinaire d'aller aux toilettes toutes les quatre heures, Autominder essaiera de faire le rappel un peu avant le début de son programme préféré ou avant l'arrivée d'une amie avec pour éviter de l'interrompre après) La flexibilité est essentielle puisque les utilisateurs sont des êtres humains et qu'un intervalle strict de quatre heures peut ne pas être optimal.

Le système a été testé et une version a été intégrée sur le robot mobile Pearl [Pollack *et al.*, 2003a] et inclus dans un test de terrain préliminaire mené à une maison de retraite à Oakmont. Le système a été testé par des personnes âgées et le test a été réussi. Les tests effectués avaient un double objectif à tester :

- l'interopérabilité du logiciel de contrôle du robot avec d'Autominder
- l'acceptabilité par les personnes âgées.

Les points forts d'Autominder est sa flexibilité en fonction des besoins des utilisateurs. Le système est bien pensé puisqu'il prend en compte les besoins des personnes âgées et part du principe que c'est au système de s'adapter à l'utilisateur et non pas l'inverse. Cependant, le recours aux futurs utilisateurs vient

juste à la dernière phase de tests. Autominder est un exemple d'aide à l'ordonancement, tandis que COACH [Mihailidis *et al.*, 2004] fournit un exemple de dispositif de repérage d'instructions.

### **COACH (Cognitive Orthosis for Assisting aCtivities in the Home)**

[Mihailidis *et al.*, 2004] est un système d'assistance pour aider les personnes affectées par une démence au lavage des mains, en utilisant un ensemble de capteurs pour "surveiller" chaque étape du processus, en émettant un rappel si des étapes telles que l'utilisation de savon sont ignorées ou effectué dans le mauvais ordre. Le système COACH guide un utilisateur se lavant les mains en lui donnant par prompteur les étapes (ouvrir le robinet, se savonner. . .).

COACH procède ainsi : le suivi, la surveillance d'état, la décision d'action à effectuer (selon un processus de décision Markovien) et d'action (incitation).

Ce type de dispositif démontre que l'on peut assister un utilisateur sur des tâches très précises du quotidien qui apportent plus d'autonomie à des personnes ayant des troubles cognitifs. Ce type de système doit être généralisé à d'autres activités procédurales et peuvent être couplés par des applications de plus haut niveau comme des assistants agendas à la manière de PEAT ou Autominder. Il demeure que ce type de dispositif n'est envisageable que dans des lieux délimités.

**ALZ-MAS** [García *et al.*, 2009] est un système multi-agent, sensible au contexte, de surveillance de santé des patients d'Alzheimer basé sur l'intelligence ambiante. Le système vise à utiliser des capteurs dans des résidences gériatriques pour collecter les informations des patients.

ALZ-MAS est un système composé d'agents intelligents basés sur le modèle de croyance, désir, intention (BDI) [Kinny *et al.*, 1996]. Les caractéristiques des agents les rendent appropriés pour le développement de systèmes d'assistance ambiant et donc assurer la dynamique et la distribution de l'environnement dans lequel ces systèmes sont immergés. Basé sur l'intelligence ambiante, les agents d'ALZ-MAS possèdent la capacité de s'adapter aux utilisateurs et aux caractéristiques environnementales.

Les agents dans ALZ-MAS collaborent avec les agents sensibles au contexte intégrés dans les dispositifs de surveillance (dispositif porté par l'utilisateur sous forme de bracelet et qui utilise la fréquence radio) pour collecter l'information en temps réel de l'environnement et permettre l'interaction avec l'entourage, le contrôle et la gestion des services physiques ( i.e. chauffage, lumières. . .)

ALZ-MAS améliore la sécurité et l'efficacité des établissements de soins de santé par la surveillance de l'activité des patients et une automatisation partielle de certaines activités de l'équipe médicale. De plus, il facilite la planification du travail et minimise le temps du travail routinier.



### 2.4.2 Tableau comparatif de quelques systèmes existants

Dans cette section nous dressons un tableau comparatif de quelques systèmes existants. Nous considérons dix systèmes (**AMON**, **WEALTHY**, **SmartCane**, **OutCare**, **KopAL**, **FoSIBLE**, **PEAT**, **Autominder**, **COACH**, **ALZ-MAS**) qui sont comparés en tenant compte de deux disciplines : *informatique* et *sciences sociales humaines*.

D'un point de vue *science sociales humaines*, on évaluera la prise en compte des exigences en termes de besoins fonctionnels (autonomie, mobilité, confort) et non fonctionnels (confidentialité, personnalisation, couverture du système). De plus, on évaluera la méthode de conception utilisée pour voir si elle est orientée utilisateur et/ou interdisciplinaire.

D'un point de vue *informatique*, on comparera les systèmes **AAL** sélectionnés selon :

- Les critères de différenciation précédemment définis : l'ouverture, l'interopérabilité, la sensibilité au contexte et l'adaptation ;
- La catégorie des services proposés : détection d'urgence, la guidance cognitive, la surveillance de santé et l'assistance d'activité ;
- Les paradigmes, algorithmes ou techniques informatiques exploitées : le paradigme multi-agent, l'apprentissage, système d'aide à la décision...

	Disciplines	Critères	Sous-critères	Les systèmes ambiants d'assistance (AALs)							
				AMON	WEALTHY	Smart Cane	Fosible	COACH	PEAT /Autominder	OutCare/kopAL	ALZ-MAS
SHS	Exigences	Besoins fonctionnels	Autonomie	X		X		X	X	X	
			Mobilité		X	X					
			Confort	X	X	X	X				
			Protection	X	X	X					X
		Besoins non fonctionnels	Sécurité et confidentialité	Oui	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	Oui (KopAL)	⊖
			Personnalisation	Oui	⊖	Non	⊖	Oui	Oui	Oui	⊖
			Couverture (absolue/limitée)	Absolue (2j d'autonomie)	Au-delà de la zone clinique	Limité à l'intérieur (20h d'autonomie)	Limité à l'intérieur	Limité à l'intérieur	Limité à l'intérieur	Absolue	Limité à l'intérieur
	Méthodes de conception	Interdisciplinarité		⊖	⊖	⊖	Oui	⊖	Oui (Autominder)	Oui	⊖
		Conception centrée utilisateur		Oui (33 sujets testés)	⊖	Non	Oui	⊖	⊖	⊖	⊖
INFORMATIQUE	Les caractéristiques des systèmes ambiants d'assistance	Ouverture		+	+	+	+	-	-	+	+
		Sensibilité au contexte		-	-	-	+	-	+	-	+
		Adaptation/évolution		-	-	-	+	+	+	+	-
		Interopérabilité		-	-	-	-	-	-	+	+
		Transparence (technologie des capteurs)		Porté au poignet	Capteurs intégrés tricotés	Capteurs intégrés dans la cane	Application pour télévision	Caméra vidéo montée sur l'évier	⊖	Appareil mobile	Porté au poignet
	Domaines d'application	Détection d'urgence		X	X	X				X	X
		Guidance cognitive					X	X	X	X	X
		Surveillance de la santé		X	X	X					
		Assistance de l'activité	ADL					X			
			IADL				X				
			EADL								
	Algorithmes et méthodes	Algorithme de reconnaissance d'activité									
		Système d'aide à la décision							X		
		Découverte du modèle comportemental									X
		Apprentissage					X		X		
		Systèmes multi-agents								X (OutCare)	

Table 2.1 – Tableau comparatif des systèmes intelligents ambiants d'assistance existants (⊖ : Non Mentionné ; +/- : existe /ou pas ; x : objectifs et techniques utilisées)

Ce tableau (cf. Table 2.1) montre que le domaine des AAL est riche en termes de fonctionnalités proposées (détection d’urgence, guidance cognitive, surveillance de la santé) et que de nombreux efforts ont été faits pour obtenir des dispositifs discrets et non intrusifs. L’IA a déjà fait son entrée dans ces systèmes et on compte des fonctions exploitant des approches d’apprentissage. Cependant, ces systèmes et leur mode de conception comportent des faiblesses qui impacte leur acceptabilité :

- L’approche de conception et l’interdisciplinarité, garant de la prise en compte des différents points de vue (étique, social, juridique), ne sont que rarement mentionnées et ne semblent pas être une préoccupation des concepteurs. Quand elle est exploitée, l’interdisciplinarité n’intervient qu’en phase d’évaluation du système. Ceci explique la faible acceptabilité des systèmes AAL : très utilisés au début, ils perdent leur popularité très vite.
- L’ouverture et l’interopérabilité sont faiblement prises en compte. Une majorité de système opère dans des zones délimitées et fermées (domicile le plus souvent).
- La sensibilité au contexte et l’adaptation sont faiblement prises en compte. La majorité des systèmes AAL sont conçus pour répondre à des situations prédéfinies.

## 2.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté un panorama de la recherche actuelle dans les systèmes intelligents ambiants d’assistance. Nous avons examiné les points forts et les lacunes de quelques systèmes.

Nous avons pu observer des insuffisances majeures de ces systèmes existants qui concernent l’adaptation, la distribution et la sensibilité au contexte. La majorité des dispositifs sur le marché sont conçus pour des soins à l’intérieur, limités à une zone pré-définie et/ou des tâches prédéfinies [Mihailidis *et al.*, 2004, Andoh *et al.*, 2003, Yamazaki, 2007, Alaoui, 2013]. En outre, ils ne fournissent pas un outil personnalisable et capable d’évoluer en fonction des besoins de l’utilisateur et de leur possible évolution cognitive ou à des changements brusques d’habitudes [Mitzner et Rogers, 2010].

D’un autre côté les approches issues de l’intelligence artificielle, notamment les Systèmes Multi-Agent, l’apprentissage et leur mariage apportent des promesses et renouvellent la manière de concevoir ces systèmes. Ils permettent de concevoir des entités logicielles dotées d’intelligence et capable d’interagir à un niveau avec des métaphores sociales adaptées aux systèmes ambiants intelligents. Notamment, il est possible d’imaginer que l’apprentissage multi-agent par renforcement puisse nous permettre de faire émerger des comportements collectifs efficaces basés sur l’auto-organisation des agents.

Le prochain chapitre détaille l’approche de conception utilisée pour concevoir notre système d’assistance des personnes ayant des déficiences cognitives.



*Deuxième partie*

---

## **CONTRIBUTIONS**



# 3

---

## L'approche de conception centrée utilisateur à base de scénarios proposée

### 3.1 Introduction

Ce chapitre présente l'approche de conception utilisée pour concevoir le système d'assistance aux personnes âgées que nous avons appelé SADIKIKOI. Rappelons que ce système devrait aider les personnes ayant des déficiences cognitives dans leurs activités quotidiennes à l'extérieur soit par des notifications ou des suggestions pour réorganiser leurs activités, soit par des alertes en cas de difficultés (désorientation, perte, chute ...). Sur la base du chapitre 1, nous soutenons que la construction d'un tel dispositif technique "bien pensé" devrait impliquer les utilisateurs et leur environnement pendant tout le processus de conception et de développement. Comme démontré par Mitzner et Rogers la participation des personnes âgées dans le processus de conception augmente le taux d'acceptation du système [Mitzner et Rogers, 2010]. Ce chapitre présente l'approche de conception centrée utilisateurs que nous avons élaborée et suivie. Elle comprend une philosophie de conception (Méthode de L'objet Floue [Membrado et Rouyer, 2013, Callon *et al.*, 2007, Hatchuel *et al.*, 2002, Akrich, 1991]), un ensemble de techniques, un cycle de vie et des langages, modèles et outils supports.

La *section 2*, présente une vue globale de notre approche.

La *section 3* détaille son cycle de vie. Les scénarios tenant une place centrale dans notre approche (de la conception à la validation).

La *section 4* consacrera une présentation détaillée des scénarios en précisant : leur utilité, leurs différentes formes exemplifiées, le méta-modèle de leur structure et leur cycle de vie. Cette section débouchera sur une spécification du comportement attendu de notre système obtenu par une synthèse de scénarios (via une technique de « process

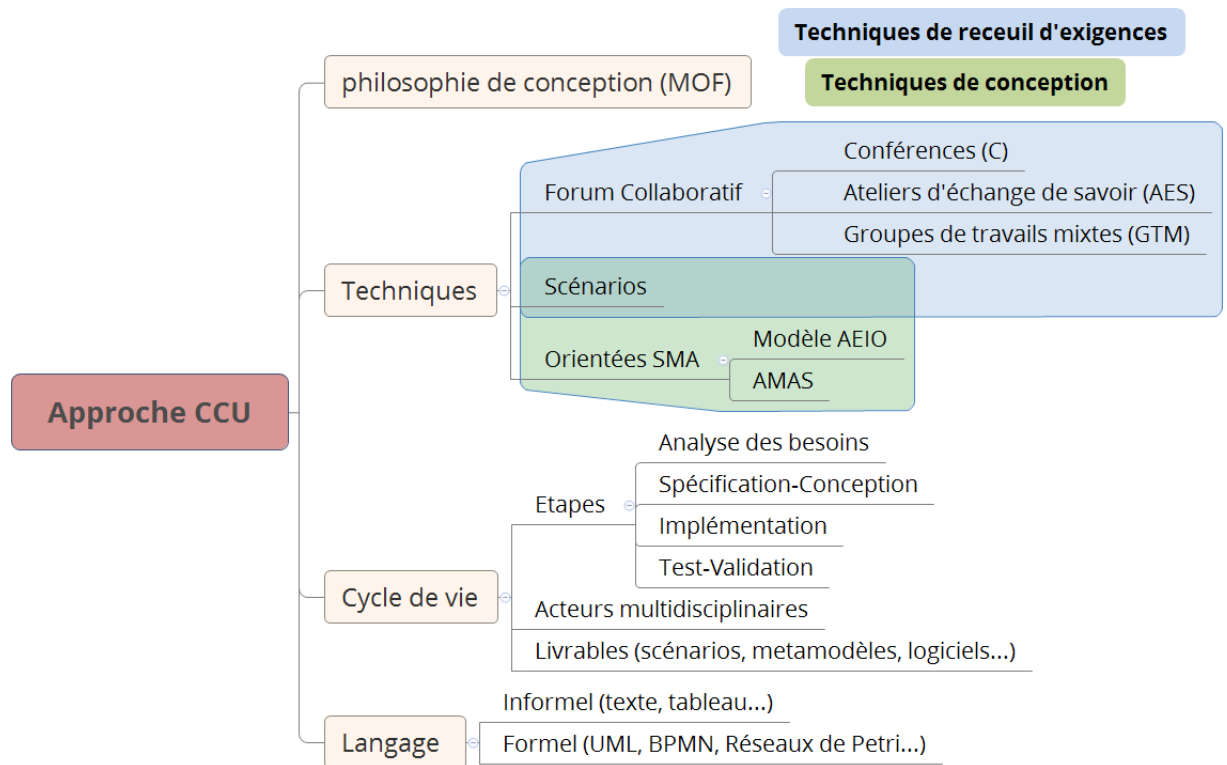


Figure 3.1 – Les composants de notre approche

mining » [Van Dongen *et al.*, 2005, Alves de Medeiros *et al.*, 2004] ).

Enfin, en *section 5*, la conclusion résumera l'intérêt de notre approche, les difficultés rencontrées et la distance entre l'approche théorique et celle effectivement réalisée.

## 3.2 Vue globale de notre approche de Conception Centrée Utilisateur

Notre approche de Conception Centrée Utilisateur (CCU) (cf. Figure 3.1) se base sur une philosophie générale appelé MOF (Méthode de l'objet flou) [Loncle et Rouyer, 2004, Membrado et Rouyer, 2013] qui définit le degré et les modalités de participation des utilisateurs dans l'ensemble du cycle de vie. Elle se base originellement sur des forums collaboratifs mais nous lui avons adjoint des scénarios pour permettre une fluidité dans son exploitation. D'un point de vue informatique, la conception et l'implémentation multi-agents exploite divers langages ou notation (naturel, UML, BPMN et AEIO). Nous tenons d'ores et déjà à signaler le rôle central que joueront les scénarios dans notre



approche, dans la mesure où ils sont exploités tout au long du cycle de vie : depuis leur forme en langage naturel en phase d'analyse des besoins jusqu'à la validation du système implémenté.

### 3.2.1 La philosophie de conception

Cette thèse s'appuie sur une démarche de conception interdisciplinaire et collaborative, qui suppose non seulement la mobilisation de chercheurs et de savoirs constitués venus d'horizons différents (spécialistes des environnements urbains, sociologues et psychologues du vieillissement, spécialistes des neurosciences, chercheurs informatiques), mais aussi de praticiens de terrains (médecins, personnels soignants, gestionnaires d'établissements médicalisés, services à domicile), des populations touchées par ces difficultés ainsi que leurs proches. Cette multidisciplinarité a pour objet la collecte d'informations sur l'activité de personnes dépendantes en raison de leur âge ou de leurs capacités cognitives, dans l'objectif de faciliter l'autonomie de ces personnes. Les mécanismes de collecte de l'information utilisés font partie des techniques de l'approche centrée utilisateur. Nous avons utilisé, en collaboration avec les chercheurs en SHS, la MOF (Méthode de l'objet flou) [Membrado et Rouyer, 2013, Callon *et al.*, 2007, Hatchuel *et al.*, 2002, Akrich, 1991]. L'état d'esprit de la MOF peut se résumer ainsi :

1. Elle met en place un processus de co-construction itératif d'un objet technique non spécifié au départ dit « Objet Flou ». Les utilisateurs et les différentes parties prenantes de plusieurs disciplines sont mobilisés par le problème à résoudre et accompagnent pas à pas le développement de l'objet.
2. Elle définit l'utilité de l'objet technique avant de déterminer ses spécifications techniques.
3. Elle se base sur des forums collaboratifs fréquents pour obtenir une meilleure compréhension mutuelle entre groupes concernés et faire émerger un langage commun. L'objectif est de faire advenir des éléments de consensus sur ce à quoi « l'objet-flou » peut servir et comment il est intégré dans l'environnement.

La MOF se déploie en quatre phases :

1. Une première phase d'identification des groupes d'acteurs concernés et une campagne d'enquête pour définir avec les différents interlocuteurs les premières spécificités de l'objet flou.
2. Une seconde phase de pré-étude avec les acteurs.
3. Une troisième phase, consacrée à la conception et à la contextualisation de l'objet, est basée sur des ateliers multidisciplinaires.
4. La définition collaborative des exigences de l'objet-flou. Il est possible que plusieurs objets s'offrent au développement.

Comme nous pouvons le constater, ces différentes étapes se positionnent essentiellement en phase d'Analyse des besoins. Cependant, les forums collaboratifs et l'état d'esprit multidisciplinaires sont conservés pour les étapes de conception, implémentation et test.

Pour la définition de notre système SADIKIKOI, la MOF a permis de bien situer et comprendre les vrais besoins attendus de l'objet-flou (notre système), compte tenu des différents points de vue. Notre groupe était essentiellement composé d'utilisateurs, de sociologues, d'informaticiens et de gérontologues. Nous avons adapté la MOF en intégrant dès le départ la notion de scénario qui nous a permis de centrer les interactions autour d'un objet commun. De plus les scénarios, du fait de notre formalisation (cf. section 4.3) et de ses différentes représentations, ont permis d'avoir un fil conducteur tout au long du cycle de vie. Si l'on devait positionner notre approche relativement à la typologie définie dans le chapitre 1, nous pouvons affirmer qu'elle se situe entre les approches empathiques et participatives. Nous avons au départ débuté par une approche participative où les utilisateurs étaient considérés à égalité et supposés suivre l'ensemble du processus, mais cela n'a pas pu se poursuivre (investissement trop important). Nous avons, par la suite, poursuivi notre conception selon une approche plutôt empathique basée sur l'observation et des interviews de futurs potentiels utilisateurs dans leur milieu (domicile et locaux d'associations). Cela a été possible grâce à des associations d'accompagnement de personnes âgées (les blouses roses, les petits frères des pauvres...) pour lesquelles j'ai été bénévole.

### **3.2.2 Les techniques centrés utilisateurs**

Pour l'analyse des besoins, nous avons utilisé deux techniques : les forums et les scénarios. Pour le reste du cycle de vie nous avons utilisé les scénarios et les techniques et théories issus des SMA : les AMAS pour permettre l'apprentissage, et la représentation AEIO (Agent Environnement Interaction Organisation) pour structurer la description du Système Multi-Agent conçu. Nous détaillons dans cette section seulement les techniques utilisées en phase d'analyse des besoins : les forums et les scénarios.

#### **3.2.2.1 L'utilisation des FORUMS**

Un forum alterne un ensemble de petites conférences et la tenue d'ateliers d'échange de savoirs (AES), des groupes de travaux mixtes (acteurs de terrains/acteurs scientifiques). Le « forum » collaboratif, a pour finalité d'organiser un processus itératif et « démocratique » favorisant l'échange de savoirs et une interprétation partagée du problème formulé. Dans le cadre de cette thèse, les réunions, ateliers et conférences se sont multipliées surtout dans la première phase d'analyse de besoins. Les premiers échanges

nous ont montré une ambiance bruyante et très enrichissante, remplie de contradictions et de malentendus. Les intervenants utilisaient parfois le même mot pour exprimer différentes significations. Après plusieurs itérations, nous avons abouti au recueil des exigences.

### 3.2.2.2 L'utilisation des Scénarios

Les scénarios constituent la technique clé de notre conception. Nous avons suivi le cadre de classification des scénarios de [Rolland *et al.*, 1998] qui représente quatre points de vue différents pour un scénario : but, contenu, cycle de vie et forme. Comme indiqué au chapitre 1 section 1.4.5, le but définit la raison d'être du scénario. Dans le cadre de SADIKIKOI, les scénarios ont servi trois buts essentiels : décrire, explorer et expliquer. Le contenu de chaque scénario est une description du comportement du système dans son environnement ambiant. Il est représenté comme un processus qui décrit les différentes interactions possibles entre le système et les parties prenantes. Plusieurs formes ont été utilisées (textuelle, forme tabulaire, processus BPMN). Nous avons élaboré pour cela un méta-modèle de scénarios détaillés en section 3.4.3.

## 3.3 Le cycle de vie de notre approche

La Figure 3.2 décrit le cycle de vie de notre approche.

**Phase d'analyse des besoins** met en œuvre la MOF : à partir d'un scénario textuel, nous avons déroulé la MOF. Elle aboutit à la définition d'exigences fonctionnelles et d'autres scénarios validés sur lesquels la conception va pouvoir débiter. Les scénarios, à cette étape, se veulent textuels, simples à comprendre et couvrant plusieurs situations possibles.

**Phase de spécification-conception** : A partir de scénarios fixés par l'étape précédente, nous avons spécifié notre système en définissant un diagramme de cas d'utilisation. Pour obtenir des scénarios formalisés, plus diversifiés et plus précis, nous avons élaboré un méta-modèle de scénarios (discuté et validé par le groupe de discussion pluridisciplinaire). Nous avons ensuite développé un générateur de scénarios basé sur ce méta-modèle. Les scénarios ainsi générés représentent une succession d'activités quotidiennes de l'utilisateur et d'actions du système (envois de messages, visualisation de cartes...). Ces scénarios ont permis de raffiner les besoins et les préférences de l'utilisateur.

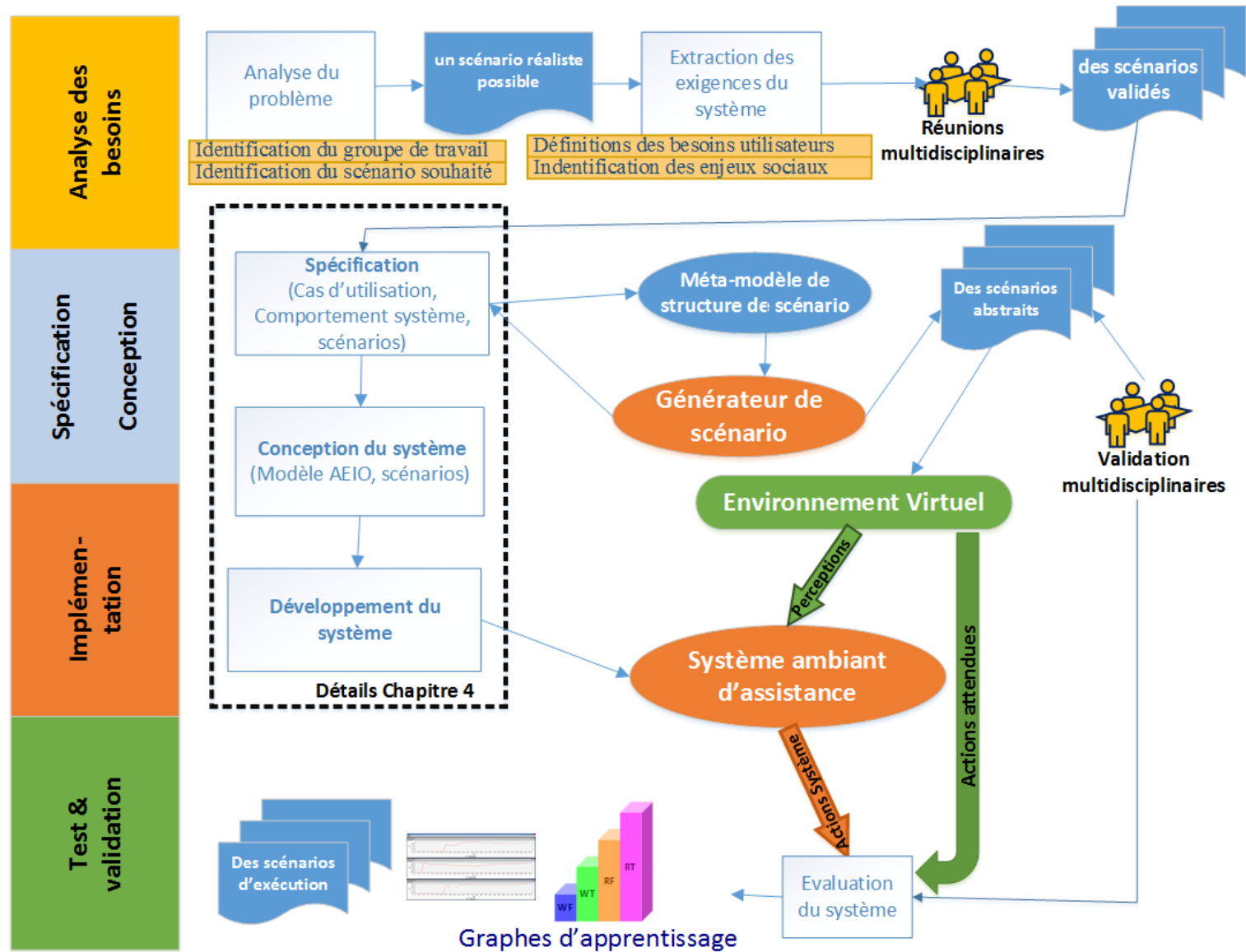


Figure 3.2 – Cycle de vie de notre approche

En représentant ces scénarios sous forme de journaux d'événements, nous avons pu les synthétiser et obtenir une spécification du comportement du système visé sous forme de réseaux de Petri en appliquant l'algorithme de découverte de processus alpha [Alves de Medeiros *et al.*, 2004] cf. section 3.4.4.2). La conception multi-agent a ensuite donné lieu à un modèle selon la structure (Agent, Environnement, Interaction, Organisation) qui sera décrite en détail au chapitre 4.

**Phase d'implémentation.** Le système ambiant d'assistance est développé à partir de la conception AEIO fournie par l'étape de conception. Nous suggérons d'utiliser un environnement virtuel (simulé) qui permet de réaliser une implémentation provisoire (prototype) sans engager la population cible, par définition vulnérable. L'environnement virtuel envoie des signaux correspondant à des événements extraits des scénarios préalablement générés. Dans notre contexte, le développement a été fait en JAVA. Comme nous le détaillerons au chapitre 4, notre implémentation intégrera des agents capables d'apprendre. La fonction d'évaluation (récompense) est basée sur les (ré)actions attendues du système également décrites dans les scénarios.

**Phase de test et validation.** Elle a pour but de tester le système et visualiser les courbes d'apprentissage en se basant sur l'environnement virtuel. Cette phase sera détaillée dans le chapitre 5.

## 3.4 Les scénarios : Atout de notre approche

### 3.4.1 Utilité

Le choix des scénarios est justifié par trois raisons :

- Ils sont inspirés du monde réel et ils sont donc faciles à comprendre et clarifient les exigences du système ;
- Ils intègrent plusieurs points de vue et aident donc à construire un objet commun partagé qui accroît les échanges et la compréhension entre des parties prenantes ;
- Il couvre le cycle de vie logiciel : il aide à recueillir les exigences, à spécifier le comportement attendu du système, à définir l'environnement virtuel et à valider le système.

### 3.4.2 Exemples de scénarios

Nous détaillerons dans cette section des exemples de scénarios dans un format textuel mais également à l'aide de la notation BPMN.

## Forme Textuelle

« Françoise, 75 ans, est atteinte de troubles cognitifs modérés fréquents chez les personnes de son âge. Cependant, Françoise est très active, même si elle se perd et oublie fréquemment. Elle n'est pas du genre à s'enfermer à la maison, elle essaie d'être la plus indépendante possible. Elle est membre de plusieurs associations également. En d'autres termes, c'est une bonne vivante. Suite à un accord entre sa famille et l'association d'assistance des personnes âgées, elle a accepté d'acquiescer le système SADIKIKOI qui permet de faciliter l'autonomie et l'accessibilité aux espaces publics. Aujourd'hui, Françoise s'est fixée l'ensemble des tâches suivantes qu'elle enregistre sous SADIKIKOI. D'abord, elle devra aller à la pharmacie pour acheter des médicaments, passer ensuite par la bibliothèque pour emprunter un roman et fera des courses (Pain, Brosse à dents...) au centre commercial. Elle passera ensuite rendre visite à Isabelle sa voisine qui est la présidente de l'association des grands-parents de Toulouse pour discuter les détails de l'organisation du meeting prévu à la fin de ce mois. Elle indique aussi qu'il faudra qu'elle soit à la maison avant 16h pour prendre ses médicaments et se reposer. Avant de quitter son domicile à 14h, SADIKIKOI lui rappelle de prendre l'ordonnance du médecin (nécessaire pour l'achat des médicaments). En premier lieu, elle se dirige vers la pharmacie et elle achète les médicaments comme prévu. A la sortie, SADIKIKOI indique qu'il y a un centre commercial près de la pharmacie. Courses faites, elle prend la grande rue puis tourne à gauche puis rebrousse chemin et bizarrement passe trop de temps dans cette zone, de plus, elle se met à tourner en rond. Une situation d'instabilité est alors détectée. SADIKIKOI réagit et une voix familière pré-enregistrée de sa fille dit : « Si t'es perdu maman, calme toi et n'est pas peur SADIKIKOI vas te guider, suit ses instructions ». Juste après, SADIKIKOI la guide jusqu'à un parc public proche pour se reposer et retrouver ses esprits grâce à des instructions vocales détaillées. De plus, il visualise sa position et le chemin à suivre pour attendre sa destination sur des cartes graphiques détaillées sur l'écran de son portable. Une fois reposée, elle se dirige vers la bibliothèque et elle emprunte un roman. Par hasard, elle rencontre Angeline son amie et elles vont prendre un café. A 15h30, SADIKIKOI émet un signal discret (exemple : un signal lumineux avec un vibreur) puisque elle est accompagnée. Françoise lit le message envoyé par SADIKIKOI qui indique qu'il reste 30min pour aller à la maison pour prendre ses médicaments à 16h. Par la suite, elle s'excuse auprès de son amie en indiquant qu'elle doit partir maintenant, lui dit au revoir et sort en direction de la maison. Elle devra normalement faire un détour pour rencontrer sa voisine, mais le dispositif lui suggère de retarder cette tâche pour demain puisque elle n'est pas urgente et c'est presque l'heure de prendre ses médicaments. Françoise valide alors cette proposition et rentre à la maison. La réunion avec la voisine est reportée et enregistrée dans son planning pour demain. Une fois à la maison, elle prend ses médicaments puis se repose en regardant une émission à la télévision. »

Pour récapituler, la liste des tâches fixées par Françoise est dans l'ordre :

1. Aller à la pharmacie pour acheter des médicaments.
2. Passer par une bibliothèque pour emprunter un roman.
3. Aller au centre commercial pour faire ses courses (Pain, Brosse à dent, yaourts).
4. Visiter sa voisine (présidente de l'association dont elle fait partie) pour discuter les détails de l'organisation du meeting de l'association des grands-parents de Toulouse prévue à la fin du mois.
5. Rentrer à la maison avant 16h pour prendre ses médicaments et se reposer.

Le scénario réalisé qui décrit les réactions de notre dispositif vis-à-vis des circonstances rencontrées est le suivant :

- A. Rappeler** à l'utilisatrice de prendre l'ordonnance du médecin (nécessaire pour l'achat des médicaments) et de l'argent en espèces (nécessaire aussi pour faire les courses) ou bien avoir sa carte bancaire (éventuellement le code de la carte)
- B. Recommander** d'aller au centre commercial près de la pharmacie. Ce qui minimisera le temps passé à aller faire les courses.
- C. Détecter** une instabilité quand l'utilisatrice tourne en rond. Le dispositif réagit et propose de se diriger vers un parc public où l'utilisateur peut se reposer. Le chemin à suivre pour atteindre sa destination est visualisé sur l'écran.
- D. Suggérer** de retarder la visite de son amie prendre ses médicaments à l'heure.
- E. Rappeler** la prise de médicaments une fois à la maison.]

### Forme modèle BPMN

Il s'agit de trois acteurs qui sont l'utilisateur, la famille et le système.

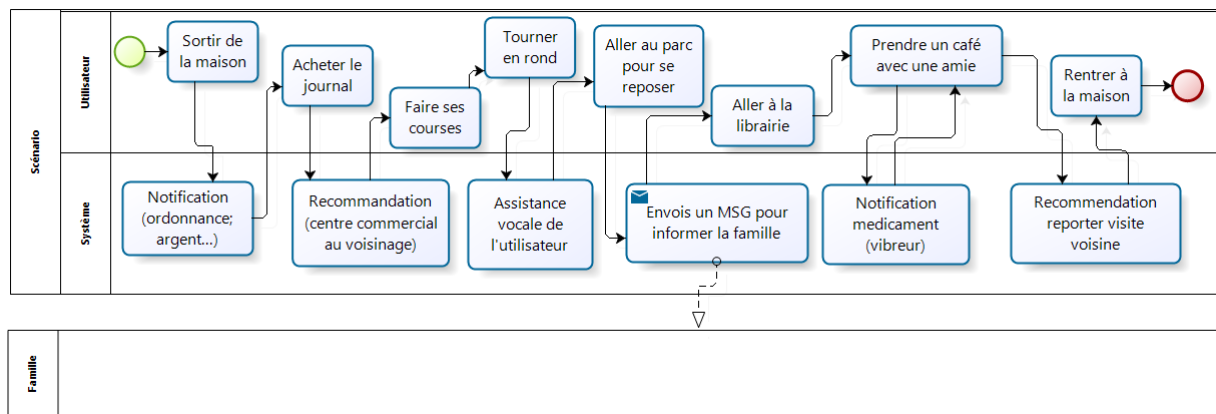


Figure 3.3 – Modèle de scénario en BPMN

La forme BPMN (cf. Figure 3.3) permet de lever les ambiguïtés de l'écrit, d'avoir une forme compacte, de permettre une simulation et validation plus simple. Dans ce scénario, nous ne faisons pas apparaître le comportement de la famille que nous représentons par un pool extérieur vide.

En revanche, la forme BPMN, contraint l'ordre d'exécution des tâches et laisse peu de marge à l'improvisation et à l'imprévu. On rencontre un dilemme entre le pouvoir d'expression du langage naturel et la difficulté de son automatisation. BPMN réduit le pouvoir d'expression mais permet une automatisation. Il existe de nombreuses techniques d'ajout de flexibilité dans les processus dont on pourrait s'inspirer [Andonoff *et al.*, 2012]

### 3.4.3 Modèle conceptuel de scénario

La formalisation de la structure d'un scénario permet de générer des scénarios variés, sous différentes formes (tabulaire, textuel ...), complet (avec toutes les interactions) et de manière automatique. Le méta-modèle proposé (cf. Figure 3.4) décrit les concepts clés des scénarios et leurs relations. Il permet de représenter les fonctionnalités et le comportement d'un système ambiant qui aide des personnes âgées dans leurs activités quotidiennes en plein air. Nous avons un modèle UML composé de trois paquets : les parties prenantes, le contexte et le système (SADIKIKOI).

1. **Le package « Parties prenantes »** contient toutes les informations décrivant l'utilisateur, son agenda et son entourage : l'utilisateur principal (personne ayant des déficiences cognitives), ses préférences, son agenda avec ses différentes contraintes et des informations sur les autres acteurs impliqués dans le système (par exemple, parrain, famille, voisins ...).
2. **Le package « Contexte »** concerne les différents éléments variables dans le temps et l'espace concernant l'activité de l'utilisateur. Il comprend i) les activités effectives des utilisateurs, ii) les événements (sociaux, techniques, météorologiques...) issus des activités de l'utilisateur ou des actions du système, et iii) l'environnement spatio-temporel (position GPS et date). C'est l'ensemble des éléments observables (perceptibles) par le système et qui l'aide à décider des actions à réaliser. Si l'on prend la métaphore d'un film : le décor correspond à l'environnement spatio-temporel, une image correspond à un événement ayant lieu dans un environnement donné, et le film (série d'images ordonnées) correspond à un *contexte*.
3. **Le package « Système »** enregistre les actions réalisées par le système ainsi qu'un historique de tous les scénarios. L'historique est représenté par une classe log qui enregistre les activités de l'utilisateur, les actions du système et les événements correspondant.



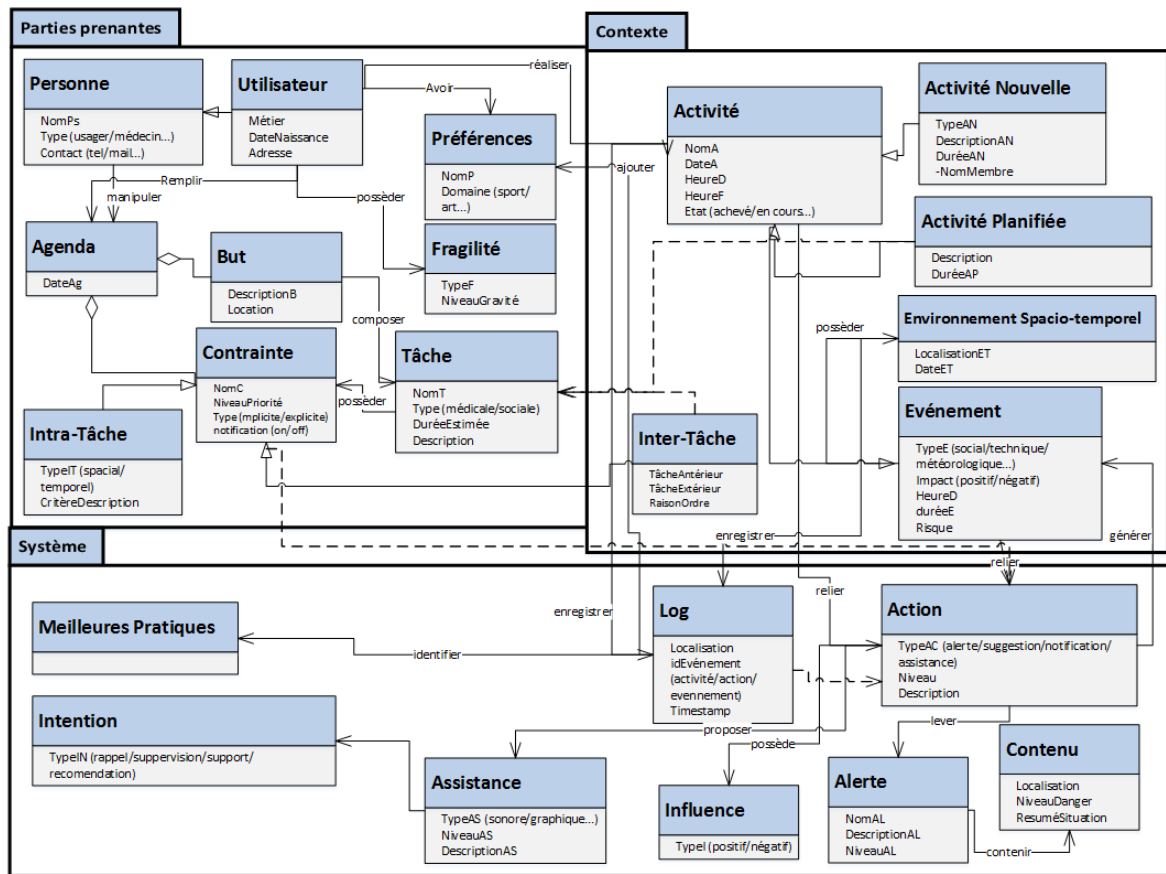


Figure 3.4 – Méta-modèle de scénarios

Nous allons également définir quelques concepts clefs de ce méta-modèle pour lever les ambiguïtés possibles d'interprétation :

**Tâche** : est un modèle d'activité composé de plusieurs actions élémentaires. Par exemple, cuisiner suppose d'éplucher des légumes, faire bouillir de l'eau, etc. Ici nous ne représentons pas le détail des actions composant une activité. Elles peuvent être définies seulement par des objectifs (but) comme précisées par leur durée, leur localisation (visite médicale). Elle peut être planifiée dans l'agenda et lorsqu'elle est réalisée elle devient une activité.

**Activité** : elle représente la réalisation d'une tâche planifiée ou une tâche inattendue. La succession d'activités décrit les activités quotidiennes de l'utilisateur à l'extérieur

**Contrainte** : il décrit une restriction qui peut avoir l'un de ces deux types :

- Contrainte intra-tâche concerne une seule tâche et décrit des propriétés d'un ou plusieurs composants de cette tâche (ex. date et lieu fixés pour une tâche).

- Contrainte inter-tâches décrit des relations entre les tâches (précédence, facilitation, empêchement...). Par exemple, un bilan sanguin peut exiger d'être à jeun et donc de ne pas déjeuner.

**Action :** représente un élément observable du comportement du système. Chaque action est définie par un type (alerte, suggestion, notification), un niveau (degré de gravité), un destinataire et un éventuel impact/effet sur son destinataire. Elle sera décrite par un changement d'état des effecteurs du système (par exemple : l'action « Envoyer un signal discret à l'utilisateur » sera représenté par le changement de l'état de l'effecteur vibreur de l'état vibreur=OFF à l'état vibreur=ON).

**Événement :** il se définit comme un fait marquant qui peut être soit issu d'une activité de l'utilisateur ou d'une action du système, soit un signal observée de l'environnement (ex : il commence à pleuvoir). Les événements perçus par le système par l'intermédiaire de capteurs sont appelés perception. Les événements dans notre cas auront comme caractéristique d'être brefs dans le temps, soudains et inattendus. Ils peuvent être détectés par une évolution particulière des valeurs d'une variable.

### 3.4.4 Le cycle de vie des scénarios

Chaque scénario a un cycle de vie, c'est-à-dire que tout scénario est créé (automatiquement ou manuellement), éventuellement mis à jour/raffiné suite aux discussions multidisciplinaires, éventuellement synthétisé en un comportement centralisé, utilisé à des fins d'apprentissage et de tests. Nous détaillons ci-dessous les phases de génération de scénarios ainsi que la déduction du comportement du système à partir de ces scénarios.

#### 3.4.4.1 La génération des scénarios

Le méta-modèle de la figure 3.4 a donné une représentation complète d'un scénario, mais dans chacune des phases du cycle de vie nous n'en utilisons que des vues partielles. L'intérêt des scénarios générés est de représenter les actions du système et ses interactions avec l'utilisateur et l'environnement, ceci pour pouvoir étudier les capacités d'apprentissage du système et son efficacité dans un environnement dynamique en évolution. Un scénario généré est donc une séquence d'événements (activités, perceptions et actions) effectués par un acteur (l'utilisateur et le système) pendant une durée définie.

La figure 3.5 montre la vue des scénarios exploitée pour définir le comportement du système et son apprentissage.

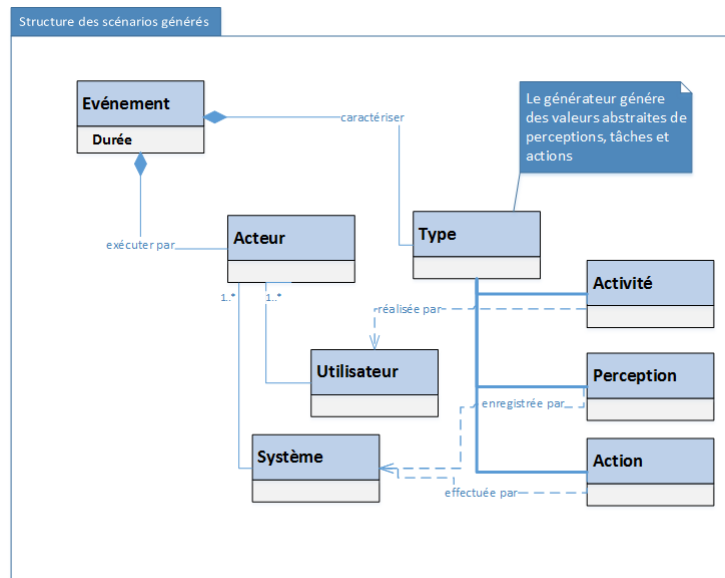


Figure 3.5 – La structure du scénario définie par le générateur

Du méta-modèle de structure de scénario utilisé pour générer plusieurs scénarios complets et compréhensibles du point de vue utilisateur, nous extrayons un sous-ensemble de composants nécessaires pour décrire scénarios d'un point de vue système. Les scénarios générés concernent seulement la partie dynamique du méta-modèle ce qui fait que le package "Parties prenantes" ne serait pas représenté dans le générateur. Il est composé des éléments suivants :

- Les perceptions qui représentent toutes les données enregistrées et pouvant être collectées par le système via des capteurs, des applications externes... Le générateur génère les perceptions qui représentent les entrées du système qui déclenchent ses actions. La succession des perceptions décrit la progression des activités quotidiennes de l'utilisateur à travers le temps.
- Les activités qui définissent la fin de la réalisation d'une tâche planifiée ou non de l'utilisateur.
- Les Actions qui représentent les sorties du système. Une action peut être une notification, suggestion ou alerte exécutée par un effecteur (par exemple, écran, haut-parleur ...).

L'objectif du générateur est de créer de nombreux scénarios virtuels pour une période donnée de temps (par exemple un jour, une semaine ...) afin d'évaluer les capacités d'apprentissage. Le générateur opère en trois phases :

1. **Paramétrage du générateur** : définition du profil de l'utilisateur (cf. package Parties-prenantes), la durée de vie des scénarios (en nombre de jours) et leur fréquence de réalisation. Les fragilités de l'utilisateur (niveau d'autonomie, pré-

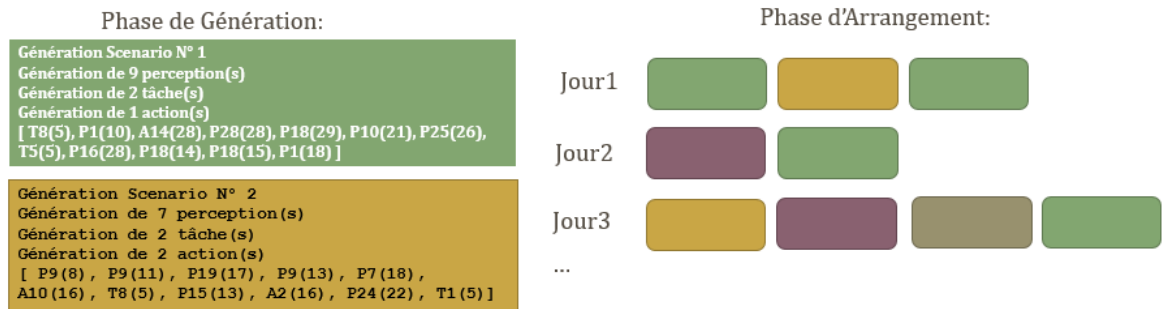


Figure 3.6 – Exemple du fonctionnement du générateur de scénarios

férences...) seront prises en compte pendant cette phase de personnalisation.

2. **Génération** : elle génère plusieurs scénarios. Un scénario est constitué d'une séquence d'événements aléatoires.
3. **Ordonnancement des scénarios** : il s'agit de répartir les scénarios sur l'ensemble des jours définis sans chevauchements.

La figure 3.6 décrit un exemple explicatif des deux dernières phases du générateur du scénarios

### 3.4.4.2 Détection du comportement centralisé du système par synthèse de scénarios

L'idée ici est de synthétiser plusieurs scénarios en un seul processus capable de reproduire tous les comportements attendus du système. Le processus produit représente un modèle possible du comportement du système y compris les interactions avec les utilisateurs et l'environnement.

Afin d'utiliser la technique de découverte de processus alpha [Alves de Medeiros *et al.*, 2004], les scénarios générés doivent préalablement être convertis en des fichiers logs d'événements (appelés events logs). L'algorithme prend en entrée un fichier log retourne alors un réseau de Petri.

Lorsque nous appliquons l'algorithme alpha sur des scénarios réels, sur trois jours, nous obtenons un modèle complexe (forme "spaghetti" comme le montre la figure 3.7) difficile à lire et à interpréter.

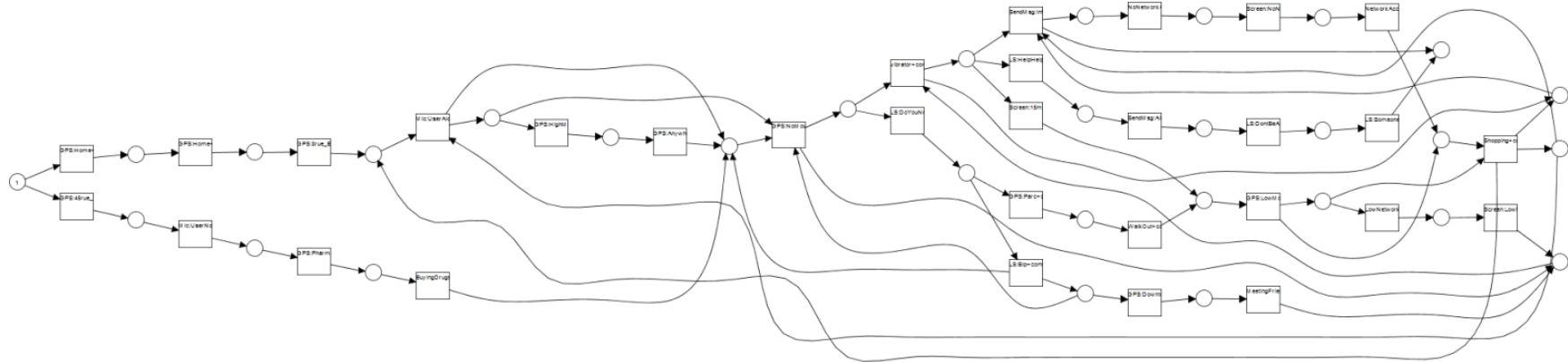


Figure 3.7 – Représentation d'un comportement complexe du système par un réseau de Petri des scénarios

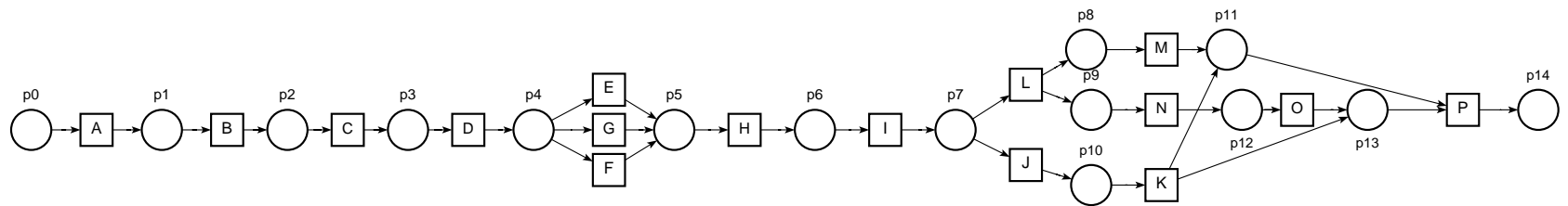


Figure 3.8 – Représentation du comportement du système par un réseau de Petri des scénarios

Table 3.1 – Exemple de tableau d’événement

EVENEMENTS	Description	Acteurs	Interactions	EVENEMENTS	Description	Acteurs	Interactions
<b>A</b>	sortir	User	–	<b>I</b>	Envoyer un MSG	System	User
<b>B</b>	notifier	System	User	<b>J</b>	Répondre à un MSG	User	–
<b>C</b>	Acheter le journal	User	–	<b>K</b>	Aller à la pharmacie	User	–
<b>D</b>	Rappeler des buts	System	User	<b>L</b>	Ignorer MSG	User	–
<b>E</b>	Aller à la librairie	User	–	<b>M</b>	Appeler l'utilisateur	System	User
<b>F</b>	Marcher dehors	User	–	<b>N</b>	Envoyer un MSG	System	Family
<b>G</b>	Shopping	User	–	<b>O</b>	Venir à l'aide	Family	User
<b>H</b>	Tomber	User	–	<b>P</b>	Revenir à la maison	User	–

Sur un exemple plus symbolique, sur le tableau d’événements Table 3.1, nous obtenons un réseau de Petri plus compréhensible (cf. figure 3.8). Plus précisément, à partir des seize événements du tableau, six scénarios ont été générés (ABCDEHIJKP, ABCDFHILMNOP, ABCDGHILNOMP, ABCDEHILNOMP, ABCDFHIJKP, ABCDGHILMNOP).

En utilisant l’outil PROM [Van Dongen *et al.*, 2005], l’algorithme alpha appliqué à ces six scénarios produit le réseau de Petri montré à la figure 3.8.

Dans ce modèle, nous pourrions différencier les éléments communs répétés des scénarios, le parallélisme possible et les actions de choix. Ce diagramme nous donne une image claire du comportement de notre système dans son environnement. Même si la lisibilité du modèle de la figure 3.8 est meilleure, le comportement synthétisé par un réseau de Petri (cf. Figure 3.7) peut faire l’objet de simulation, analyse, et vérification. Il serait aussi possible de représenter les modèles complexes par des réseaux de Petri hiérarchique (ou une transition peut représenter un réseau). Ainsi une séquence d’activité récurrente pourrait être représentée par une seule transition.

En utilisant PROM, on peut également générer un sociogramme (cf. figure 3.9) qui représente les acteurs et leurs interactions. Un acteur est représenté par un sommet dont la taille est proportionnelle à son degré de participation. Un sociogramme peut permettre ainsi de mesurer le degré d’autonomie d’un utilisateur ou d’intervention de sa famille...

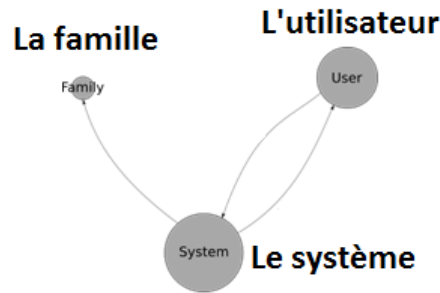


Figure 3.9 – Le sociogram des exemples de scénarios

Comme vous pouvez le voir, la taille de chaque acteur est proportionnelle au nombre de ses actions et nous pouvons clairement voir que l'utilisateur conserve un niveau d'autonomie raisonnable. En analysant ces diagrammes résultants (réseau de Petri, sociogramme ...), nous construisons une meilleure compréhension du comportement de notre système et des différentes interactions requises. Cette formalisation avec des réseaux de Petri permet d'avoir une spécification du comportement désiré de notre système et peut ainsi faire l'objet de validation, discussion et améliorations des scénarios à envisager. Dans la suite (chapitre 4), nous proposerons une modélisation et implémentation multi-agents, et donc distribuée de notre système, pour des raisons discutées au chapitre 2. Aussi, ce type de modèle centralisé ne sera pas exploité dans la suite du cycle de vie (conception et développement). En revanche, lorsque notre système fonctionnera, il être peut intéressant de traiter ces traces pour en déduire la différence entre le comportement effectif de l'utilisateur et celui attendu (« compliance checking » [El Kharbili *et al.*, 2008]).

### 3.5 Conclusion

Ce chapitre a présenté l'approche de conception centrée utilisateur que nous avons suivie pour la conception d'un système d'assistance pour les personnes ayant des déficiences cognitives. Cette approche est à la frontière des approches participatives et empathiques et elle nous semble être un bon compromis pour associer des utilisateurs vulnérables sans les mobiliser tout au long du cycle de vie. Bien que ce compromis soit dû à une difficulté de disponibilités des utilisateurs, il nous semble être raisonnable, bénéfique et réaliste. Elle a aussi des spécificités originales. Elle exploite tout au long du cycle de vie la notion de scénarios dans des formes diverses, mais pour lesquels nous avons donné une représentation formelle (cycle de vie, méta-modèle). Elle prend en compte le contexte comme objet à part entière des scénarios, ce qui permet d'envisager des comportements sensibles au contexte. Enfin, elle cible le développement de systèmes

ambiants multi-agents puisque elle préconise une conception à travers une représentation sous forme AEIO (Agent, Environnement, Interaction, Organisation).

Dans le chapitre suivant, nous allons présenter la conception de notre système multi-agent avec ses différentes dimensions (AEIO) et en précisant par des algorithmes le comportement d'agents responsables de l'apprentissage collectif.



# 4

---

## Conception du système multi-agent adaptatif ambiant d'assistance SADIKIKOI

### 4.1 Introduction

Les chapitres précédents nous ont permis de mettre en évidence la difficulté et l'intérêt de la conception centrée utilisateurs (CCU) d'un système ambiant d'assistance pour les personnes ayant des déficiences cognitives. L'objectif de ce chapitre est de spécifier et concevoir ce système capable de détecter différentes situations possibles auxquelles un utilisateur peut faire face dans ses activités quotidiennes à l'extérieur. Il permettra non seulement d'apprendre les habitudes de l'utilisateur à partir de ses perceptions, mais aussi d'améliorer ses recommandations grâce aux commentaires fournis par les parties prenantes (famille, médecins ...). L'environnement informatique où notre système est supposé être déployé est complexe car il comprend un grand nombre d'entités (actionneurs, capteurs, utilisateurs) et diverses contraintes (distribution, mobilité, hétérogénéité, ouverture, imprévisibilité).

Pour faire face aux contraintes de distribution et d'ouverture, nous utilisons une approche multi-agents. En ce qui concerne l'imprévisibilité et l'adaptation nécessaire en conséquence, nos agents coopéreront selon la théorie des systèmes multi-agents adaptatifs (AMAS)[Capera *et al.*, 2003] qui permet un apprentissage par équipe. Concernant le type d'apprentissage, comme nous l'avons spécifié au chapitre 2 en section 2.3.2.3, l'apprentissage par renforcement est le plus adapté à notre contexte applicatif car il permet d'apprendre des comportements non connus d'avance, ce qui nous a semblé le plus adapté à l'environnement ouvert et imprédictible et donc difficilement modélisable. La théorie des AMAS permet aux agents de s'auto-organiser par coopération : les modifications organisationnelles d'agents (création, fusion ou suppression) se font de manière automatique et sans intervention externe.

Dans la *section 2*, nous donnerons une vue globale de la phase de conception de notre système SADIKIKOI “a Self-ADaptive multi-Agent Knowledgeable system In Keeping Outdoors Independence”. Nous préciserons le méta-modèle de l’approche multi-agent voyelle qui structure notre conception et sur lequel on s’appuiera pour décrire notre système, ainsi qu’un éclairage sur la manière dont l’apprentissage est pris en compte dans notre conception.

La *section 3* présentera la spécification de notre système via un cas d’utilisation, qui sera le point de départ de la conception. Les sections suivantes dérouleront l’approche multi-agents voyelle.

La *section 4* présente le modèle organisationnel.

La présente le modèle environnement, ainsi que sa relation avec le méta-modèle de scénarios vue au chapitre 3. La *section 6* donne le modèle agent : les différents types d’agents et leur fonctionnement.

La *section 7* présente le modèle des interactions incluant la coopération inter-agents qui est au cœur de l’auto-adaptation des agents.

## 4.2 Vue globale de la conception multi-agent

### 4.2.1 Modèle Voyelle de SADIKIKOI

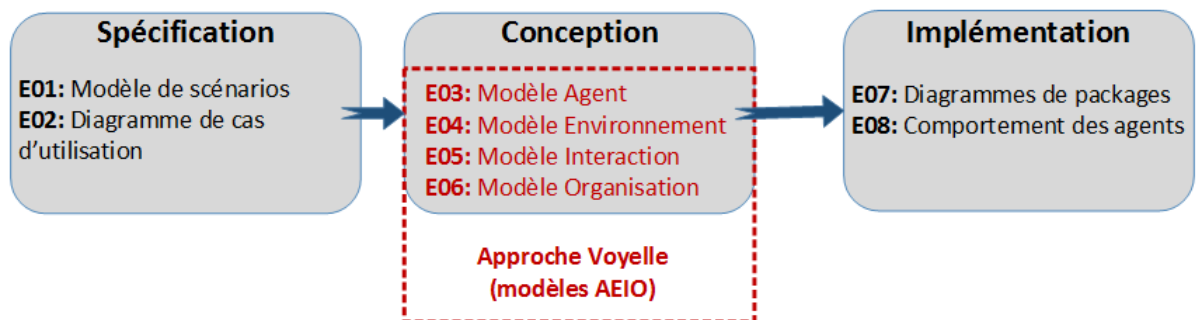


Figure 4.1 – Approche de conception SADIKIKOI

L’approche voyelle (cf. Figure 4.1) décrit l’architecture d’un système à l’aide de quatre modèles :

- **Le modèle Agent** détaille les différents types d’agents, leurs propriétés et leur architecture. Notre système est composé de trois types d’agents : des agents réactifs, des agents logiques et un agent BDI (Belief-Desire-Intention/Croyance-Désir-Intention).

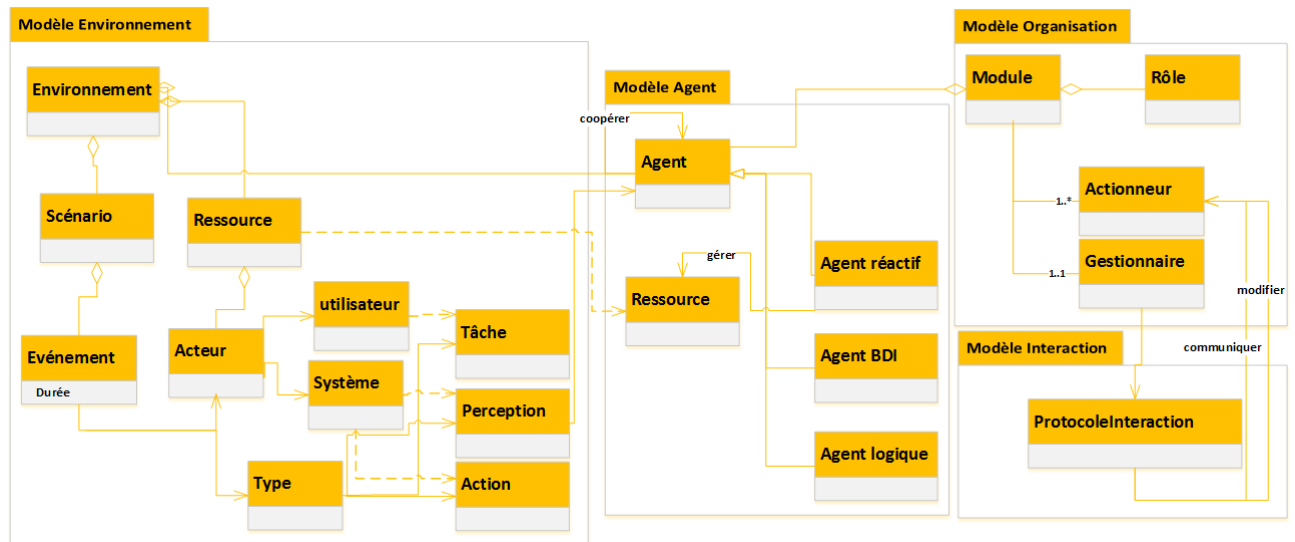


Figure 4.2 – Modèle Voyelle du prototype SADIKIKOI

- **Le modèle Environnement** décrit le milieu dans lequel sont immergés nos agents. Il est composé de l'environnement physique que l'agent perçoit et sur lequel il peut agir, ainsi que les différents événements qui s'y produisent.
- **Le modèle Interaction** décrit les différents protocoles d'interactions entre les différents agents qui leur permettent de coopérer.
- **Le modèle Organisationnel** structure les agents selon leur rôle.

La figure 4.2 donne une vue d'ensemble des composants de chacun des modèles tels que nous l'envisageons pour notre système multi-agent adaptatif et coopératif d'assistance aux personnes ayant des déficiences cognitives. Cette modularité facilite la conception et la compréhension de l'ensemble du SMA et la réutilisation de chacun des modèles.

#### 4.2.2 Principe de l'apprentissage de SADIKIKOI

Nous avons besoin de créer un système d'assistance sensible au contexte capable de s'adapter aux habitudes des utilisateurs, à son niveau de dépendance, à l'environnement changeant et aux dispositifs accessibles. De nombreux contextes, (des événements dans des environnements divers, voir définition au chapitre 2 section 2.3.2.3, éventuellement imprévisibles, sont susceptibles d'apparaître dans notre environnement complexe, et il est difficile de les énumérer à priori et donc de prévoir toutes les réactions possibles. Une façon de traiter ce problème consiste à utiliser une approche d'apprentissage artificielle qui permettrait de construire un système grâce à des expériences qui lui seront soumises et pour lesquelles il peut recevoir des « feedbacks ». Ici, nous optons pour l'apprentissage par équipe et par renforcement en exploitant la théorie des AMAS [Boes *et al.*, 2015].

La coopération des agents adaptatifs permet de gérer la dynamique et l'imprévisibilité de notre environnement. Plus précisément, nos agents détermineront automatiquement le comportement idéal pour un contexte spécifique basé sur les retours de l'environnement, et ils continueront à adapter leurs comportements dans le temps. Le but de chaque agent sera de maximiser la récompense globale tout en étant coopératif.

La théorie des AMAS permet aux agents à partir de leurs interactions d'adapter leur organisation pour faire émerger progressivement un comportement global souhaité par ses auteurs (appelé aussi « fonction globale du système »). L'apprentissage repose donc sur la structure des agents et les protocoles d'interactions qui intègrent des mécanismes de coopération et d'adaptation nécessaires à cet apprentissage. Dans la suite, nous allons spécifier le fonctionnement attendu de notre système, et par la suite, nous développerons la conception de notre système en utilisant l'approche voyelle.

### 4.3 Spécification de SADIKIKOI

SADIKIKOI doit aider les personnes ayant des déficiences cognitives dans leurs activités quotidiennes à l'extérieur. Il doit assister son utilisateur par des notifications, des suggestions de réorganisation d'itinéraires ou encore par des alertes envoyées en cas de situations anormales (désorientation, perte, chute...) détectées en fonction du contexte. Plus précisément, notre système devrait pouvoir offrir les services suivants :

1. Assistance aux activités quotidiennes : Les activités sont considérées comme des processus ou un ensemble d'actions axées sur les objectifs et caractérisées par un ensemble d'étapes principalement coordonnées. L'assistance devrait pouvoir, sur demande ou dans certaines situations caractérisées, rappeler l'objectif, réorganiser la planification des activités selon le contexte. L'assistant peut éventuellement prendre en compte le moment de la réalisation en relation avec les contraintes du calendrier et recommander des alternatives.
2. Suivi et analyse de "déviance" : le système doit détecter les niveaux de déviance ou de similitude entre le processus théorique (comme prévu) et le processus atteint pour aider à notifier les alertes ou plutôt à identifier les bonnes pratiques. Même si la personne âgée est le premier contact de l'appareil, l'environnement social de l'utilisateur doit être informé : la localisation, l'anomalie, le danger, mais aussi permettre de collaborer (déterminer les itinéraires, l'assistance, le secours...).

Notre système est conçu pour être discret et personnalisable. Cela permettra à son usager d'être accompagné dans le temps et l'espace tout en respectant sa vie privée. De plus, il s'adapte à l'environnement géographique et au contexte de la vie sociale de son utilisateur. En effet, le processus ne doit donc pas être considéré comme un plan prédéfini et final mais comme un guide adapté au contexte. Il faut toujours laisser une

marge d’initiative à l’utilisateur pour permettre l’émergence de processus innovants. Le tableau (cf. Table 4.1) permet de parcourir les différents cas d’utilisation et de décrire les acteurs, les pré-conditions, les post-conditions, un scénario minimal et parfois un scénario alternatif pour détailler les différents cas possibles et mieux décrire le fonctionnement de notre système.

Table 4.1 – Le diagramme de cas d’utilisation de SADIKIKOI

Cas d’utilisation	Description
<b>Manipuler un planning</b>	<p>Acteur : utilisateur, administrateur</p> <p>Préconditions : le système doit être configuré</p> <p>Scénario minimal : 1) l'utilisateur choisit l'opération qu'il veut effectuer : créer ou modifier un planning ou les contraintes</p> <p>2) le système le dirige vers l'écran concerné</p> <p>3) le changement est ensuite enregistré et affiché</p> <p>Scénario alternatif : Dans le cas où l'acteur n'enregistre pas ses modifications, elles seront annulées et l'écran principal sera affiché.</p>
<b>Gérer les suggestions</b>	<p>Acteur : utilisateur</p> <p>Préconditions : le système doit être configuré</p> <p>Scénario minimal : 1) le système envoie des suggestions sous forme de messages</p> <p>2) l'utilisateur visualise ces suggestions puis selon le besoin, il les valide ou les refuse.</p> <p>3) le choix est ensuite enregistré pour être utilisé comme base de données pour notre système</p> <p>Post-conditions : Si l'utilisateur valide la suggestion, une activité sera ajoutée ou reportée dans le planning selon la nature de la suggestion.</p> <p>S'il refuse, l'utilisateur sera redirigé vers la liste des suggestions restantes ou bien vers le menu principal s'il n'y a plus de suggestions.</p>
<b>Configurer l’application</b>	<p>Acteur : administrateur</p> <p>Scénario minimal : 1) l'administrateur renseigne les données de configuration du système qui représente les informations de l'utilisateur tel que son nom, âge, type de fragilité, préférences.</p> <p>2) les données seront ensuite enregistrées dans la BD du système</p> <p>Post-conditions : le système est configuré</p>
<b>Consulter les notifications</b>	<p>Acteur : utilisateur</p> <p>Préconditions : le système doit être configuré</p> <p>Scénario minimal : 1) le système envoie des notifications</p> <p>2) L'utilisateur reçoit la notification et réagit</p> <p>Scénario alternatif : 1) le système envoie des notifications</p> <p>2) L'utilisateur reçoit la notification mais ne réagit pas</p> <p>3) une alerte est alors envoyée</p>
<b>Manipuler les alertes</b>	<p>Acteur : administrateur</p> <p>Préconditions : le système doit être configuré</p> <p>Scénario minimal : 1) l'administrateur peut soit visualiser la liste des alertes envoyées pour évaluer soit le comportement et la fragilité de l'utilisateur soit les alertes envoyées (une sorte de feedback pour le système)</p> <p>Post-conditions : Une meilleure performance est garantie</p>

Ce tableau nous a permis de définir le cas d’utilisation de la figure 4.3.

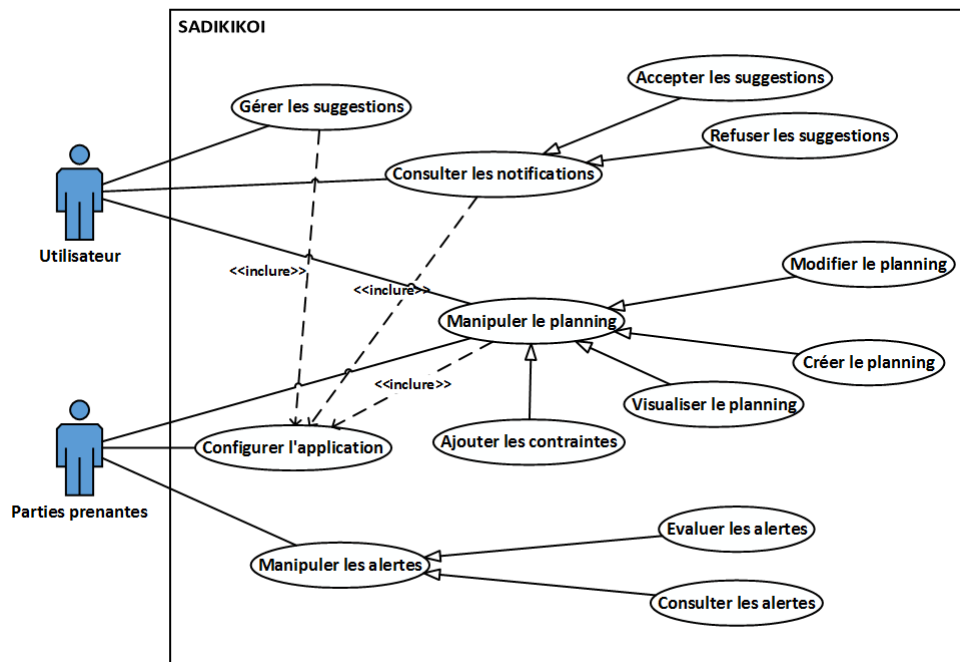


Figure 4.3 – Le diagramme de cas d'utilisation de SADIKIKOI

## 4.4 Modèle Organisationnel

Nous avons trois modules (groupes d'agents) dans notre système qui communiquent et collaborent. Chaque groupe est composé d'un gestionnaire et d'un ensemble d'agents (figure 4.4).

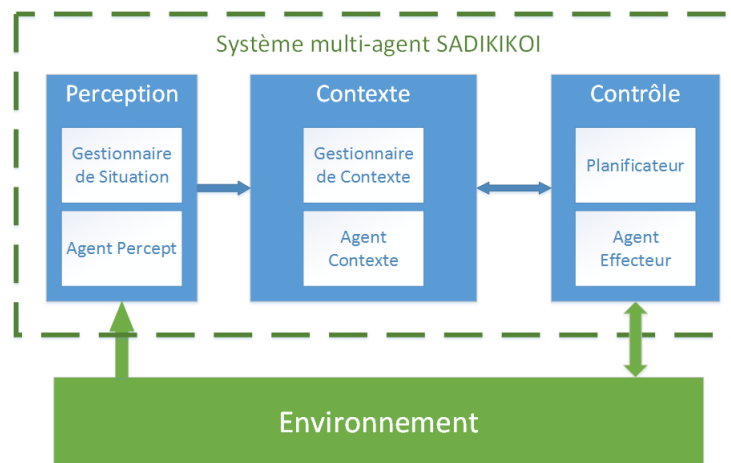


Figure 4.4 – Architecture du système

Chaque module a une structure conforme au modèle organisationnel de la figure 4.5.

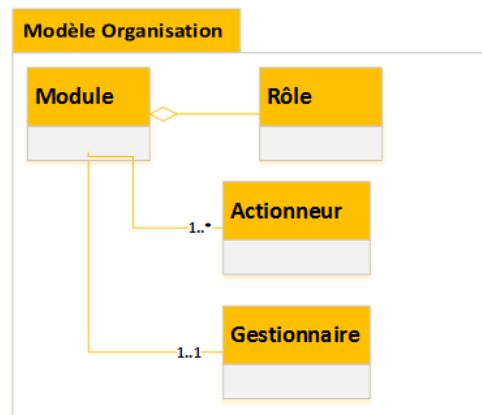


Figure 4.5 – Modèle Organisation : structure de chaque module du système

Au début, le système contient un gestionnaire de situation, un gestionnaire de contexte et un planificateur. Les agents Percept, contexte et effecteurs sont créés progressivement au moment de l'exécution.

Le **module percept**, enregistre et interprète les entrées reçues directement de l'environnement. De plus, il garantit l'acheminement des signaux significatifs vers le module contexte.

Le **module contexte** contient des agents contextuels qui expliquent les perceptions et proposent des actions appropriées.

Le **module de contrôle** regroupe le planificateur (décideur) et les agents effecteurs. Il reçoit les propositions d'action des agents contexte, sélectionne la plus appropriée et l'exécute. Il agit et reçoit des commentaires (feedbacks) de l'environnement.

Par environnement, on entend à la fois le comportement de l'utilisateur et l'environnement physique (parc, chemins, restaurants ...) et les parties prenantes.

## 4.5 Modèle Environnement

Dans cette section, nous donnons un bref aperçu de l'environnement dans lequel les agents interagissent et évoluent (cf. figure 4.6). Ce modèle correspond à l'environnement physique avec lequel SADIKIKOI interagit et sur lequel il agit.

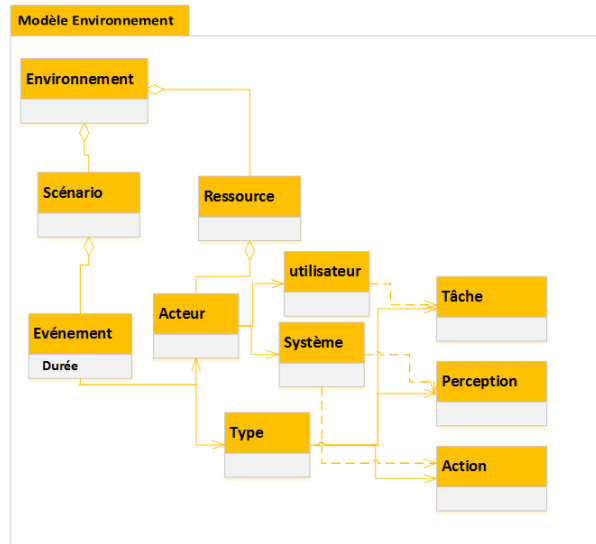


Figure 4.6 – Modèle Environnement

Le test de notre système avec des utilisateurs réels est risqué et chronophage. Nous avons donc décidé de définir un environnement virtuel perçu à travers des événements simulés distribués et imprévisibles. Ces événements sont organisés par scénario. Chaque scénario représente une succession d'activités quotidiennes possibles et d'actions du système associés : effectuées pendant une période de temps donnée dans un même espace physique. Ce modèle est conforme au méta-modèle de scénario présenté dans le chapitre 3.

## 4.6 Modèle Agent

Dans cette section nous présentons les différents types d'agents qui composent l'architecture logicielle de notre système d'assistance adaptatif.

### 4.6.1 Vue globale du modèle agents

Tous les composants de notre système SADIKIKOI ont été « agentifiés », c'est-à-dire dispose d'une interface leur permettant d'agir comme un agent. Le modèle agent de notre système (cf. le figure 4.7) est composé de trois types d'agents : réactifs, BDI et logiques.



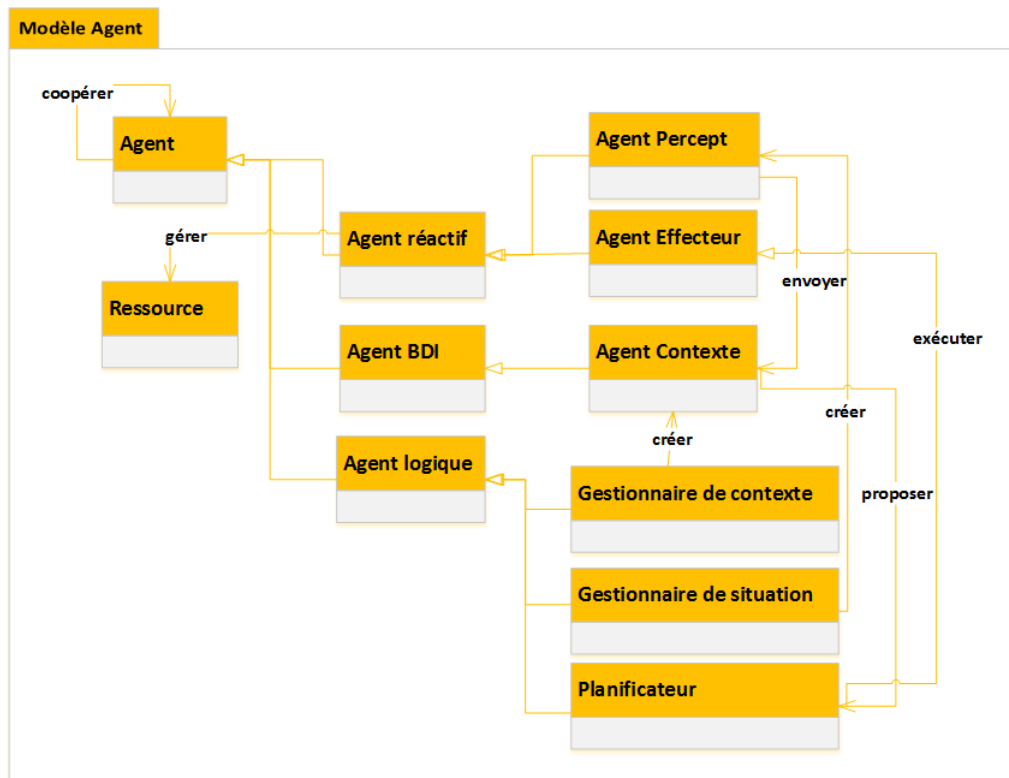


Figure 4.7 – Modèle Agents

#### 4.6.2 Agents réactifs

Les agents réactifs, comme leur nom l'indique, réagissent par réflexe « stimulation/-réponse » aux changements de leurs perceptions de l'environnement. Même si un agent réactif a un comportement simple (pas intelligent), l'ensemble des agents réactifs peuvent faire émerger un comportement global intelligent. Nous avons deux types d'agents réactifs : les agents « percept » et les agents « effecteur ». L'agent percept (Diagramme d'activité fig 4.8) reçoit la valeur du capteur et l'analyse pour voir s'il est pertinent de l'envoyer à l'agent « contexte » ou non. Chaque agent « percept » a une fonction de fréquence de transmission qui est soit occasionnelle, dépend d'un seuil de déviation toléré de la valeur détectée par rapport à la dernière valeur stockée (exemples : niveau sonore  $> 140$  dB, niveau batterie  $< 10\%$ ), soit périodique (exemple : la position GPS envoyée toutes les 3 minutes).

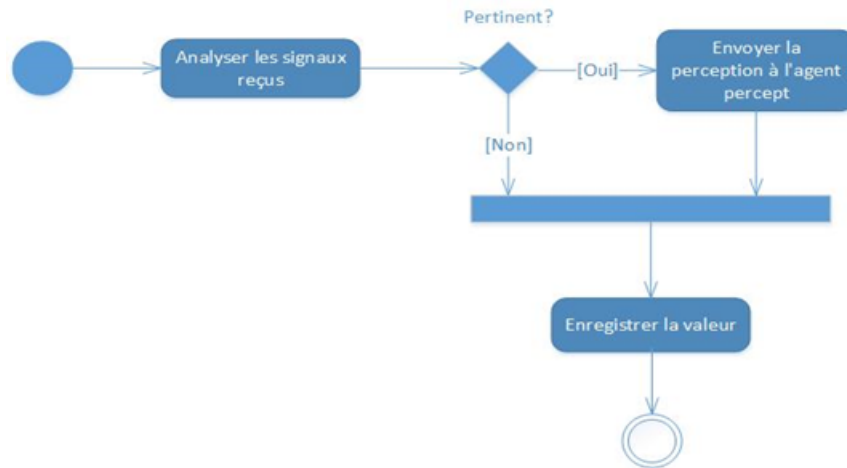


Figure 4.8 – Diagramme d'activité de l'agent gestionnaire de situation

Chaque agent « effecteur » est lié à un effecteur de notre système (exemple : haut-parleur, écran...), son rôle étant l'exécution de l'action proposée par l'agent planificateur. L'agent effecteur est stimulé par l'agent planificateur. La particularité de ces deux agents est qu'ils sont créés en cours de fonctionnement du système. Dès la réception d'un nouveau signal d'un certain type, un agent percept correspondant est créé s'il n'existe pas déjà. Suite à une action proposée, un agent effecteur correspondant est créé s'il n'existe pas. L'ajout d'un nouveau capteur ou effecteur n'interrompt pas le fonctionnement de notre système mais il est intégré en temps réel, ce qui assure l'ouverture de notre système multi-agents.

### 4.6.3 Agents cognitifs

Les agents cognitifs ont la capacité de raisonner en fonction de leurs représentations du monde. Cette capacité de planifier et d'anticiper permet d'avoir des actions basées sur des déductions logiques et des comportements optimisés. Nous avons deux types d'agents cognitifs dans notre système : les agents logiques et un agent BDI. Nous allons détailler dans cette partie les agents logiques : Gestionnaire de situation, gestionnaire de contexte et planificateur. Un agent logique est un agent cognitif capable de faire des déductions logiques issues de règles prédéfinies.

Table 4.2 – Récapitulation du fonctionnement des Agents

Agents	Représentation de l'environnement	Rôle
Gestionnaire de situation	- Les différents signaux reçus de l'environnement par l'intermédiaire des capteurs	- identifier les différents types de signaux - créer les agents percepts - acheminer la transmission des signaux vers les agents percept
Planificateur	- la liste des actions effectuées - la liste des agents effecteurs existants - les feedbacks reçus	- choisir l'action à exécuter - créer les agents effecteurs - envoyer l'action choisie vers l'agent effecteur correspondant - recevoir les feedbacks et les transmettre à l'agent gestionnaire de contexte
Gestionnaire de contexte	- la liste des agents contexte existants	- recevoir les feedbacks - acheminer les feedbacks - créer les agents contextes

Dans SADIKIKOI, il existe une seule instance de chacun des trois agents logiques, chacun d'eux possède une vue couvrante de l'environnement et ils sont responsables de la création des agents réactifs et de l'agent Contexte (cf. Table 4.2). Au début de l'exécution, le système possède un gestionnaire de situation, un gestionnaire de contexte et un planificateur. Au cours du temps, les autres agents percepts, effecteurs et contextes viendront progressivement peupler le système multi-agents selon la situation. Un agent percept gère les perceptions. Un agent effecteur réalise des actions sur l'environnement. Un agent contexte suggère des actions en fonction des perceptions. Dans la suite, on va détailler le comportement de ces trois agents logiques :

## 1. Gestionnaire de situations

**Objectif :** Son objectif est d'acheminer les signaux de l'environnement vers les agents percepts. Si l'agent percept correspondant n'existe pas déjà le gestionnaire le crée. Il opère sur un ensemble de signaux ou séquence de perceptions appelé situation. Un capteur peut être associé à plusieurs agents percepts : par exemple, pour le capteur GPS, on peut associer un agent Percept pour la vitesse de déplacement et un autre pour la position.

**Représentation :** l'agent gestionnaire de situations possède une représentation de l'historique de tous les signaux perçus qui lui caractérise la situation à un instant  $T$  (l'ensemble des perceptions du système jusqu'à  $T$ ). Il possède aussi une connaissance de tous les agents percepts existants dans le système.

**Compétence :** le gestionnaire de situation est doté de la capacité de détecter les nouveaux signaux de l'environnement et de spécifier les différents types d'agents percepts associés. Il a aussi la capacité d'acheminer les signaux perçus.

## 2. Planificateur

**Objectif :** cet agent a pour objectif de sélectionner les actions à exécuter. Il sélectionne l'agent contexte le plus confiant à un instant T et envoie l'action qu'il suggère directement à l'agent effecteur s'il existe (sinon le planificateur crée un nouveau agent effecteur). L'agent planificateur connaît toutes les actions proposées et l'état actuel des effecteurs. Il doit aussi transmettre les feedbacks reçus de l'environnement vers le gestionnaire de contexte.

**Représentation :** Le planificateur possède une représentation de la liste des actions possibles à réaliser par notre système et la liste de tous les agents effecteurs associés. Il est responsable de la création des agents effecteurs dont il gère la liste. Il a aussi une représentation de l'historique des feedbacks reçus.

**Compétence :** L'agent planificateur est capable de créer des agents effecteurs et de détecter les nouveaux effecteurs du système. Il soumet l'action choisie à l'agent effecteur correspondant et transmet au gestionnaire de contexte les feedbacks. Il est aussi responsable du choix de l'agent contexte à exécuter. Pour cela, il applique les règles suivantes :

- L'agent contexte le plus confiant est sélectionné et sa proposition est exécutée.
- Le contexte « valide » est préféré à un contexte « validable » (valide et validable étant deux états possibles de l'agent contexte qui seront détaillés dans la suite).

### 3. Gestionnaire de contexte

**Objectif :** cet agent a pour objectif de créer des agents contextes pour gérer certains feedbacks négatifs reçus de l'environnement. Les feedbacks négatifs créent des situations de non coopération (SNCs).

**Représentation :** Etant le responsable de la création des agents contextes, le gestionnaire de contextes possède une vue globale sur les différents agents contextes créés et leurs états.

**Compétence :** Il a la capacité de créer des agents contextes ou d'acheminer les feedbacks reçus du planificateur vers les agents contextes concernés. Dans la suite, nous allons détailler la structure et le comportement de l'agent contexte qui est l'agent central de l'auto-adaptation et l'apprentissage de notre système multi-agents.

#### 4.6.4 Vue détaillée de l'agent Contexte : clé de l'auto-adaptation

L'agent contexte possède une architecture BDI. Cette architecture permet de prendre en compte les changements imprévisibles de l'environnement et de proposer des actions pour s'adapter. L'agent contexte permettra de raisonner, de collaborer et de

prendre des décisions pour une meilleure assistance [NIGON, 2017]. L’agent contexte fonctionne en boucle selon un cycle perception-délibération-action qui correspond aux concepts de l’architecture BDI, croyances (Belief), désirs (Desire) et intentions (Intention) [Rao *et al.*, 1995] et chapitre 2 section 2.3.1.3.

#### 4.6.4.1 Structure de l’agent contexte : agent BDI

L’agent contexte estime une situation et propose une action à réaliser. Il peut améliorer son comportement, pour s’adapter aux habitudes et aux exigences de l’utilisateur, grâce à un apprentissage par renforcement reposant sur des feedbacks possiblement différés. Chaque agent contexte (cf. la figure 4.9) possède quatre propriétés : le contexte perçu, l’état, l’action et l’appréciation.

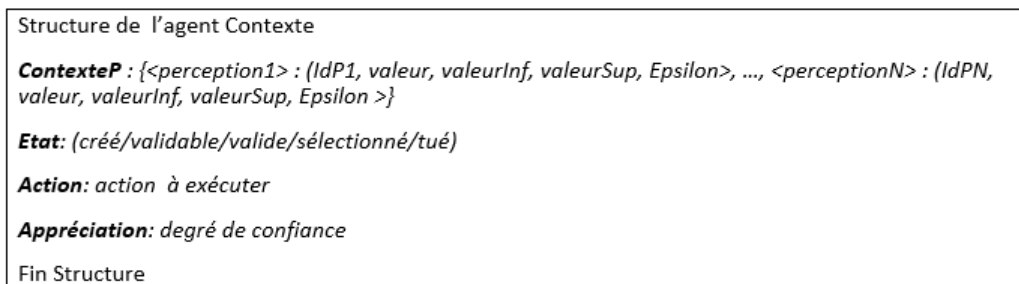


Figure 4.9 – La structure de l’agent contexte

Le contexte perçu (ContexteP) est un ensemble de perceptions. Une perception est un n-uplet composé de son Id, une valeur, des bornes de validité et une valeur epsilon de flexibilité qui permet d’accepter des perceptions proches des bornes de validité. L’intervalle [VALEURINF, VALEURSUP] désigne la plage de validité, et l’intervalle [VALEURINF-EPSILON, VALEURINF[ U ]VALEURSUP+EPSILON] est nommé plage validable.

**L’appréciation** définit le taux de confiance de chaque agent contexte. **L’état** de l’agent contexte sera dit valide si toutes les valeurs des perceptions reçues appartiennent aux plages de validité. Le contexte est dit validable si les valeurs des perceptions reçues se répartissent sur les plages validables et de validité. Un agent contexte peut être associé à un contexte de désorientation, de perte, de détente ou d’activités réalisées et, pour lequel, l’agent contexte propose une **action** à réaliser qui peut être interne (au système) ou externe (vers l’utilisateur). Pour une meilleure compréhension, nous présentons (cf. la figure 4.10) une plage de validité de l’agent contexte pour une perception GPS (juste la latitude). L’intervalle jaune représente la zone valide, la zone hachurée définit la zone

validable. La boîte blanche représente la valeur de la perception dans la situation actuelle. L'agent contexte est dit valide si toutes les perceptions de la situation actuelle sont dans la zone jaune.



Figure 4.10 – L'intervalle de validité d'une perception (latitude GPS) d'un agent contexte

Chaque agent contexte suit un cycle de vie, d'abord il est créé. Ensuite, il peut proposer une action s'il est dans un état « validable » ou « valide ». Il peut être sélectionné par le planificateur et voir son action exécutée. Il peut être dans l'état « tué » si sa confiance est trop faible. L'agent contexte évolue en utilisant les perceptions reçues provenant des agents percepts, analyse et corrèle ses perceptions pour définir son état et proposer l'action nécessaire pour aider l'utilisateur dans ses activités de la vie quotidienne à l'extérieur. Notre système doit s'adapter par apprentissage aux contextes changeants de l'utilisateur et prendre en compte ses besoins évolutifs. Il ajustera ainsi ses zones de validités, son degré de confiance et son état.

#### 4.6.4.2 Les croyances de l'agent contexte

Les croyances sont les informations de l'environnement que l'agent contexte utilise pour prendre des décisions d'action et d'adaptation. Dans notre cas, les croyances représentent à la fois les différentes perceptions reçues des agents percepts et les feedbacks reçus de l'agent gestionnaire de contexte. Plus précisément, les premières informations permettent de définir l'état de l'agent contexte pour prendre la décision de proposer une action ou pas. Les deuxièmes informations (les feedbacks) permettent de s'adapter par mise à jour de la valeur de l'appréciation et des bornes supérieures et inférieures de l'intervalle de validité des perceptions.

#### 4.6.4.3 Les désirs de l'agent contexte : la coopération selon le modèle des AMAS

Les désirs sont les buts que l'agent contexte vise à atteindre. Nous pouvons citer plusieurs objectifs possibles que l'agent contexte peut avoir comme augmenter son appréciation, proposer une action ou avoir des feedbacks positifs. Cependant, dans notre approche, le seul objectif des agents contextes est d'être coopératif. Nous utilisons la théorie des AMAS qui vise à résoudre des problèmes dans un environnement dynamique non linéaire en permettant aux agents d'apprendre leur comportement coopératif afin de

faire émerger la fonction globale du système. Nos agents sont dits coopératifs c'est-à-dire qu'ils favorisent l'ensemble du système même si cela requiert d'abandonner temporairement leur propre but (désir) local. La coopération permettra d'atteindre le but global de notre système ambiant d'assistance qui consiste à pouvoir s'auto-adapter aux perturbations du système, apprendre les habitudes de l'utilisateur et donc pouvoir proposer des actions appropriées pour garantir une assistance adaptée à l'utilisateur. Par exemple, si un agent contexte devient inutile, il se détruira automatiquement pour le bénéfice du système. Par ailleurs, la coopération consiste à proposer la meilleure action et donc mettre à jour son intervalle de validité et sa confiance pour obtenir des feedbacks positifs.

#### **4.6.4.4 Les intentions de l'agent contexte : la résolution des situations de non-coopération**

Les intentions correspondent à des plans sélectionnés dans le but d'atteindre les désirs de l'agent contexte. Etant donné que les désirs de l'agent contexte est d'être coopératif, les intentions sont les plans de résolutions des situations de non-coopération. Les agents peuvent être confrontés à des situations non coopératives (SNC) diverses. Par exemple, une SNC est détectée lorsque deux agents contexte proposent deux actions différentes dans la même situation et que la mauvaise recommandation est sélectionnée. Dans ce cas, une coopération multi-agent est déclenchée pour résoudre cette SNC. Un agent est dit dans un état coopératif lorsque toutes ses interactions sont coopératives, c'est-à-dire n'induisent pas de SNC. Dans cet état, l'agent exécute son comportement nominal (propose son action) sinon l'agent est dans une situation non coopérative (SNC) et ajuste ses paramètres.

## **4.7 Modèle Interaction**

Nous donnons d'abord une vue globale de l'interaction à travers un diagramme de séquences. Ensuite, nous précisons les principes de résolution des SNC et enfin nous donnons les algorithmes des agents impliqués dans l'apprentissage.

### **4.7.1 Vision globale de l'interaction**

Pour avoir une vue globale des interactions, nous proposons le diagramme de séquences, de la Figure 4.11, qui illustre les différentes interactions que les agents entretiennent au démarrage de notre système.

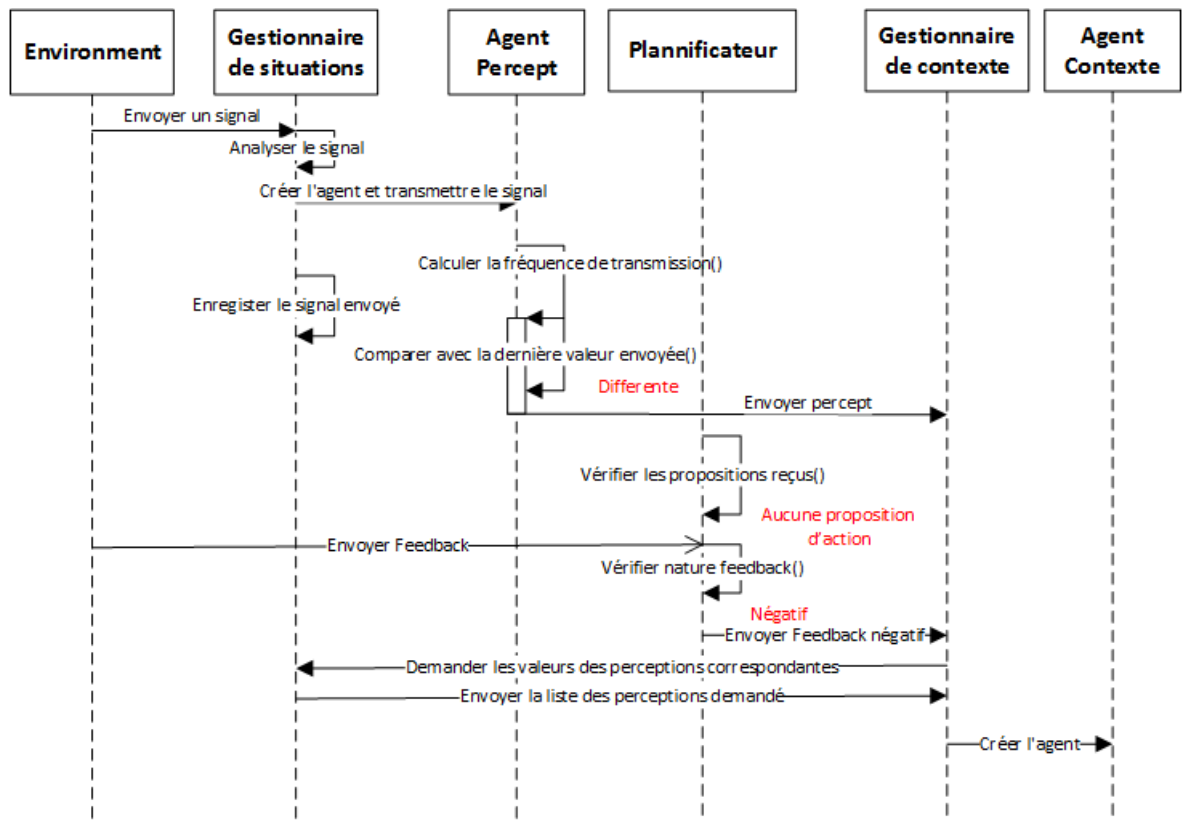


Figure 4.11 – Diagramme de séquences des différentes interactions des agents au démarrage du système

#### 4.7.2 Les situations de non-coopération (SNCs)

Il existe plusieurs types de situations non coopératives. Les types de situations non coopératives sont les suivantes :

- **Improductivité** : L'agent prend la décision que l'action la plus efficace est de ne rien faire. (SNC1)
- **L'erreur** : L'action effectuée est différente de celle souhaitée. (SNC2)
- **Inutilité** : L'action faite par un agent n'a aucun effet sur son environnement. (SNC3)
- **Conflit** : L'action que l'agent souhaite faire est en conflit avec celle d'un autre. (SNC4)
- **Compétition** : L'action que l'agent souhaite faire a le même résultat que l'action d'un autre. (SNC5)
- **Ambiguïté** : Il existe une potentielle ambiguïté dans le message perçu. Il n'y a pas d'information suffisante pour discriminer le signal.



- **Incompréhension** : L'agent ne peut pas extraire d'information du signal perçu.
- **Incompétence** : L'agent n'est pas capable de prendre de décision à partir des connaissances qu'il a.

Notre système traite les cinq premières SNCs de la liste, ci-dessus. En effet, les SNCs d'ambiguïté et d'incompréhension sont reliées à des problèmes d'interopérabilité qui n'ont pas été traités dans le cadre de cette thèse.

Il a été démontré que si tous les agents d'un SMA sont dans un état coopératif, le MAS est fonctionnellement adéquat, c'est-à-dire qu'il remplit correctement sa fonction. Par conséquent, le défi est de concevoir des agents capables d'éliminer les SNCs, afin de parvenir à un état global coopératif et de le maintenir malgré les changements dans leur environnement. Pour résoudre les SNCs, l'agent modifie sa façon d'interagir avec son propre environnement. Ces changements peuvent être de trois types (ou une combinaison de ceux-ci) :

1. **Ajustement** : l'agent ajuste les paramètres internes ;
2. **Réorganisation** : l'agent change la façon dont il interagit avec son voisinage, c'est-à-dire qu'il cesse d'interagir avec un voisin donné, ou il commence à interagir avec un nouveau voisin, ou il met à jour l'importance accordée à ses voisins existants.
3. **Ouverture** : l'agent crée un ou plusieurs autres agents, ou se supprime lui même.

Ces comportements sont appliqués localement par les agents, mais ils ont un impact sur l'activité de l'ensemble du système. Par conséquent, ils constituent des mécanismes d'auto-organisation. Pour mieux comprendre ces SNCs, le diagramme de séquence de la figure 4.11, décrit la résolution de SNC1. SNC1 a été gérée par le gestionnaire de contexte en fonction des feedbacks du planificateur créant un nouvel agent contexte qui fournit l'action souhaitée pour un intervalle qui contient les perceptions à ce moment-là. Nous détaillons dans le modèle d'interactions les algorithmes de comportement et la façon dont il gère la SNC.

### 4.7.3 Interaction entre les agents : Apprentissage selon les AMAS

Le premier algorithme décrit le planificateur (scheduler). Il comprend deux étapes, la première consiste à sélectionner la recommandation à exécuter, la seconde à évaluer les recommandations en traitant les feedbacks (positifs ou négatifs). Cependant, le planificateur n'est pas responsable ni de leur occurrence ni de leur résolution. En cas de recommandations multiples, les règles suivantes sont appliquées :

- L'agent contexte le plus confiant est sélectionné et sa proposition exécutée ;
- Le contexte valide est préféré à un contexte validable.

---

**Algorithme 4.1** : Algorithme du planificateur

---

**Pré-conditions** : *Sch* Scheduler, Propositions are received from each context agent valid or validable  
*C<sub>s</sub>* Selected Context Agent, *A<sub>s</sub>* Proposed action of the selected Context Agent *C<sub>s</sub>*  
*A<sub>d</sub>* desired Action, *C<sub>d</sub>* Context Agent proposing *A<sub>d</sub>*

```
1: Tant que Sch.ExistsPropositions() faire      ► Etape1 : Selection et Execution de la
   recommandation
2:   Si Sch.ExistsValidContext() alors
3:     Cs = Sch.selectMostConfident(validContexts);
4:   sinon
5:     Cs = Sch.selectMostConfident(allContexts);
6:   fin Si
7:   Sch.SendActionToExecute(As);
8: fin Tant que
9: Tant que Sch.ExistsFeedbacks() faire      ► Etape2 : Evaluation de la Recommandation
10:  Si (existsCorrectContext()) alors
11:    Si ( As == Ad ) alors                  ► Cas d'une bonne recommandation
12:      Sch.sendFeedback(Cs, Positive);
13:    sinon
14:      Sch.sendFeedback(Cs, Negative, Cd);    ► Cas de mauvaise recommandation
15:    fin Si
16:  sinon
17:    Si Sch.ExistsSelectedContext() alors
18:      Sch.sendFeedback(Cs, Negative);
19:    sinon
20:      Sch.sendFeedback(Negative);
21:    fin Si
22:  fin Si
23: fin Tant que
```

---

Le planificateur joue le rôle de superviseur de l'algorithme d'apprentissage par renforcement en acheminement des feedbacks. Il y a trois réactions négatives différentes :

- "sendFeedback (*C<sub>s</sub>*, Négatif, *C<sub>d</sub>*)" lorsqu'un agent contexte propose l'action souhaitée selon les propositions reçues;
- "sendFeedback (*C<sub>s</sub>*, Négatif)" où aucun des agents contexte proposés ne propose l'action souhaitée;
- "sendFeedback (Négatif)" quand aucun agent contexte n'a été proposé alors qu'une action était nécessaire.

Dans les deux derniers cas, le gestionnaire de contexte sera impliqué dans la résolution de ces SNCs. L'envoi de ces feedbacks (positifs ou négatifs) pour évaluer l'action du système peut se faire juste après l'exécution (e.g. si l'utilisateur valide une recommandation ou note une notification) ou être différé.

Le deuxième algorithme explique le comportement du gestionnaire de contexte dont

---

**Algorithme 4.2** : Algorithme du gestionnaire de contexte

---

**Pré-conditions** :  $CM$  Context Manager,  $C_i$  Context Agent  $i$ , Feedbacks are received from the scheduler

```
1: Tant que  $CM.ExistsFeedbacks()$  faire  
2:    $CM.DispatchFeedbackToContextAgent()$  ;  
3:   Si  $ReceivesFeedback(C_i, \text{Negatif})$  alors  
4:      $CM.CreateNewContextAgent(Confidence_i)$  ;  
5:   fin Si  
6:   Si  $ReceivesFeedback(\text{Negatif})$  alors  
7:      $CM.CreateNewContextAgent()$  ;  
8:   fin Si  
9: fin Tant que
```

---

le rôle principal est d'envoyer les retours du planificateur aux agents contexte correspondants. En outre, le gestionnaire de contexte résout les situations de non coopération SNC1 et un cas d'SNC2 en créant un nouvel agent contexte ce qui explique comment notre système se peuple d'agents contexte au départ.

Ce dernier algorithme décrit le comportement nominal de l'agent contexte (réceptions de perception, mises à jour de l'état et recommandations) et le comportement coopératif lors de la réparation des SNCs. L'objectif de l'agent contexte est de maintenir un état de coopération.

Nous avons deux hypothèses principales pour assurer un comportement coopératif entre agents contexte tout en traitant les SNCs :

- un agent contexte valable ne met pas à jour sa confiance, mais met à jour de ses plages de validité,
- un agent contexte valide peut mettre à jour sa confiance et ses limites de validité.

L'algorithme de comportement de l'agent contexte réalise une boucle infinie faite de trois étapes :

**1. Étape 1 : Recommandations à partir des perceptions reçues**

Il commence son comportement nominal en mettant à jour son état selon les perceptions reçues et proposera éventuellement une recommandation (ligne 2 à 6).

**2. Étape2 : Apprentissage à partir des feedbacks**

Il traite les commentaires reçus du planificateur afin d'apprendre les habitudes de l'utilisateur et de s'adapter à ses besoins. Il existe deux types de réactions possibles :

- Les feedbacks *positives* qui correspondent à une recommandation correcte conduisant l'agent concerné à augmenter sa confiance ou ses limites de va-

---

**Algorithme 4.3** : Algorithme de l'agent contexte - Partie 1

---

**Pré-conditions** :  $C_i$  Agent Contexte  $i$ ,  $C_n$  Agent Contexte  $n$  en conflit avec  $C_i$ ,

Perceptions reçus des agents percept, Feedbacks du planificateur

```
1: Tant que true faire      ► Etape1 : Recommandations a partir des perceptions reçues
2:    $C_i$ .ReceivesPerceptions();
3:    $C_i$ .UpdateState()
4:   Si ( $C_i$ .isValid() or  $C_i$ .isValidable()) alors
5:      $C_i$ .proposeRecommendation ( $Action_i$ ;  $Confidence_i$ ;  $State_i$ )
6:   fin Si
7:   Tant que  $C_i$ .ExistsReceivedFeedbacks() faire      ► Etape2 : Apprentissage a partir des
   feedbacks
8:     Si ( $C_i$ .ReceivesFeedback( $C_i$ ,Positive))      ► Traitement des positive feedback en cas
   de bonne recommandation anterieure alors
9:       Si ( $C_i$ .isValid()) alors
10:         $C_i$ .IncreaseConfidence ();
11:       Si  $C_i$ .isValidable alors
12:         $C_i$ .IncreaseValidityRange ();
13:       fin Si
14:     fin Si      ► Traitement des negative feedback en cas de mauvaise recommandation
   anterieure
15:     Si ( $C_i$ .isValid()) alors ► Cas d'une mauvaise recommandation d'un agent contexte
   valide
16:        $C_i$ .decreaseValidityRange ();
17:        $C_i$ .UpdateState();
18:
19:       Si  $C_i$ .isValid alors
20:         $C_i$ .decreaseConfidence ();
21:       fin Si
22:       Si ( $C_i$ .checkConfidence () <=0) alors
23:          $C_i$ .Self-destruct ();      ► Résolution NCS3
24:         EXIT;
25:       fin Si
26:     fin Si ► Cas d'une mauvaise recommandation alors qu'un autre agent contexte pas
   selectionne a propose la bonne action
27:     Si ( $C_i$ .ReceivesFeedback( $C_i$ ,Negatif, $C_n$ )) alors      ► Résolution NCS4
28:
29:       Si ( $C_i$ .isValid() AND  $C_n$ .isValid()) alors
30:         $C_i$ .SendIncreaseConfidence ( $C_n$ , $Confidence_i$ );
31:       fin Si
32:       Si ( $C_i$ .isValid() AND  $C_n$ .isValidable()) alors
33:         $C_i$ .SendIncreaseValidityRange( $C_n$ );
34:         $C_i$ .SendIncreaseConfidence ( $C_n$ , $Confidence_i$ );
35:       fin Si
36:       Si ( $C_i$ .isValidable() AND  $C_n$ .isValidable()) alors
37:         $C_i$ .SendIncreaseValidityRangetoValid ( $C_n$ );      ► Jusqu'a  $C_n$  devient valide
38:       fin Si
39:     fin Si
40:   fin Si
41: fin Tant que
42: fin Tant que
```

---

---

**Algorithme 4.4 : Algorithme de l'agent contexte - Partie 2**

---

```
1: Tant que true faire           ► Même boucle que celle de la partie 1 de l'algorithme
2:   Tant que  $C_i$ .ExistsReceivedMessages() faire           ► Etape 3 : Apprentissage des
      messages reçus
3:     Si (ReceivesIncreaseValidityRange()) alors
4:        $C_i$ .IncreaseValidityRange ();
5:     fin Si
6:     Si (ReceivesIncreaseValidityRangetoValid()) alors
7:       Tant que (  $C_i$ .isValidable()) faire
8:          $C_i$ .IncreaseValidityRange ();
9:       fin Tant que
10:    fin Si
11:    Si (ReceivesIncreaseConfidence()) alors
12:       $C_i$ .IncreaseConfidence ();
13:    fin Si
14:  fin Tant que
15: fin Tant que
```

---

lité (ligne 8 à 14) ;

— Les feedbacks *négatives* qui représentent des réactions aux recommandations défaillantes et qui déclenchent des SNCs (ligne 15 à 42).

### 3. Étape 3 : Apprentissage des messages reçus

L'agent contexte coopère avec un autre agent contexte en exécutant les suggestions envoyées par le gestionnaire de contexte (ligne 1 à 15 de l'algorithme 4.4).

L'auto-adaptation est donc basée sur une coopération qui réduit le nombre de SNCs et, par conséquent, maximise les bonnes recommandations par auto-organisation. Elle consiste à :

1. Créer de nouveaux agents contexte en cas de non-productivité du système (*algorithme 4.2*) ;
2. Modifier des paramètres existants par auto-ajustement des plages de confiance et de validité (*algorithme 4.4*) ;
3. Réduire le nombre d'agents contextes par autodestruction d'un agent contexte inutile et en fusionnant les agents contextuels lorsqu'ils proposent la même action pour la même situation (*algorithmes 4.3 et 4.4*).

## 4.8 Conclusion

Ce chapitre a présenté un modèle multi-agents d'assistance qui s'auto-organise pour s'adapter aux changements imprévisibles de l'environnement.

Nous avons mis en évidence les principaux avantages de cette architecture multi-agents pour notre système : elle permet de gérer l'ouverture de notre système par l'ajout ou la suppression de nouveaux capteurs ou effecteurs. Elle ne perturbe pas le fonctionnement de notre système. La distribution coopérative permet d'avoir un système robuste puisque les agents vont pouvoir s'adapter et s'auto-organiser en cas de panne de certains composants de manière collective.

Dans le chapitre suivant nous nous intéresserons à l'évaluation de notre système SADIKIKOI. L'évaluation couvre les critères relatifs à la conception ainsi qu'à son fonctionnement. Nous avons besoin de créer un système d'assistance sensible au contexte capable de s'adapter aux habitudes de l'utilisateur, à son niveau de dépendance, à l'environnement changeant et aux dispositifs accessibles. Contrairement aux agents percepts ou effecteurs reliés à des entités physiques existantes (les capteurs, les effecteurs), les agents contextes sont reliés à un concept « le contexte »

# 5

---

## Mise en œuvre et évaluation du prototype SADIKIKOI

L'objectif de ce chapitre est l'évaluation de notre prototype SADIKIKOI. Nous discuterons d'abord les critères qualitatifs d'acceptation de notre système conformément à la typologie de Nielsen introduite au chapitre 1. Nous évaluerons ensuite à travers plusieurs mesures les capacités d'apprentissage de SADIKIKOI à partir de différents scénarios générés automatiquement.

Ce chapitre est organisé selon le plan suivant :

La *section 2* donne un aperçu général de notre système SADIKIKOI à travers son interface graphique.

La *section 3* discute les critères qualitatifs d'acceptabilité.

La *section 4* présente le générateur de scénarios développé pour tester notre système et détaille ensuite l'évaluation expérimentale de SADIKIKOI en fournissant plusieurs indicateurs, leur évolution à travers des courbes et leur interprétation.

Finalement, la *section 5* dresse un bilan de notre évaluation qualitative.

### 5.1 Vue générale du système

Ce projet de recherche s'inscrit dans le domaine de la conception de systèmes socio-techniques ambiants, composés d'entités logicielles et/ou physiques interagissant dans un environnement commun et dynamique pour rendre un service à un individu ou à un groupe d'individus.

Nous avons conçu un système multi-agent ambiant d'assistance sous la forme d'un outil discret et personnalisable, que la personne peut s'approprier de manière intime sous la forme d'une simple application sur smartphone.

Nous avons proposé une conception de ce système (cf. chapitre 4) et aussi implémenté

un prototype dont l'interface graphique est présentée par les images écran de la figure 5.1.

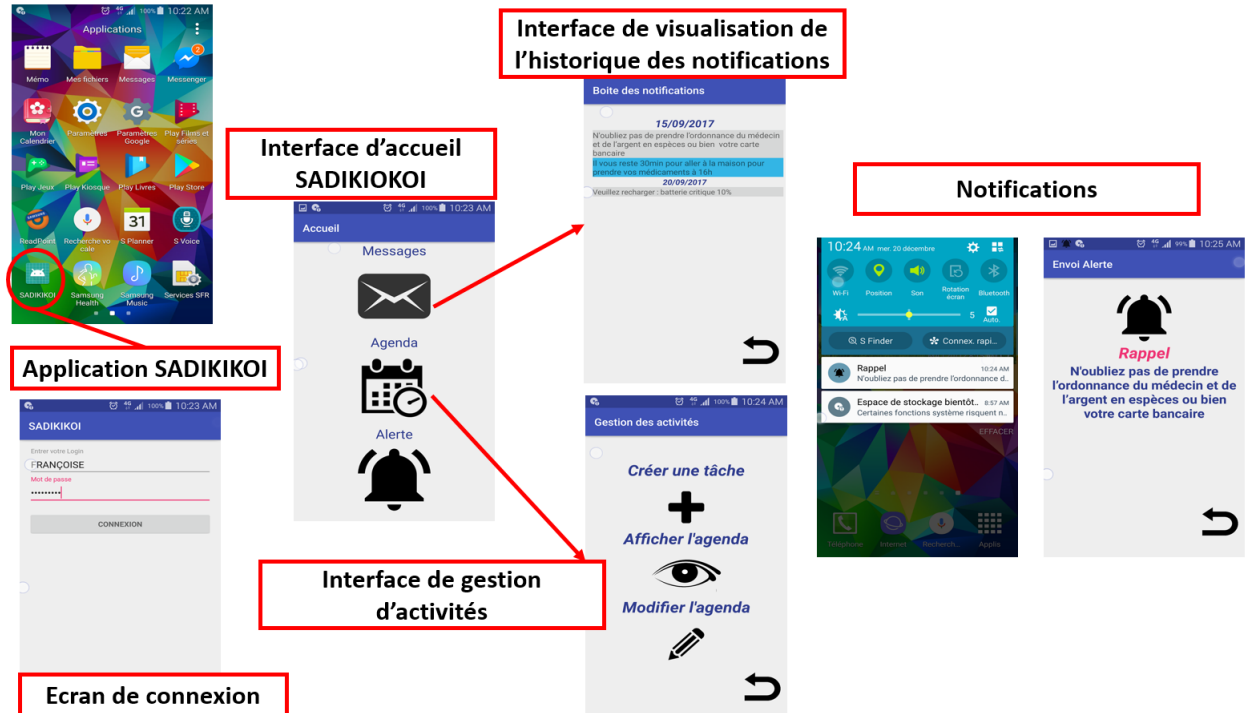


Figure 5.1 – Interface graphique SADIKIKOI

L'interface utilisateur graphique comporte trois icônes qui correspondent à des boutons de commande activables :

- **Le bouton agenda** permet à l'utilisateur de consulter son planning et de le mettre à jour (créer/modifier/supprimer des activités).
- **Le bouton messages** permet de visualiser la liste des notifications de rappels, des suggestions et des recommandations d'activités envoyées à l'utilisateur.
- **le bouton alerte** permet à l'utilisateur d'envoyer une alerte en cas de besoins.

Il existe également une interface (non représentée ici) pour l'administration du système et le suivi par les personnes de l'environnement social de la personne âgée. Cette interface permet :

1. le paramétrage de l'application ;
2. la réception de messages provenant du système : alertes et notifications ;
3. l'envoi de feedback en phase d'apprentissage du système ;
4. la consultation de l'emploi du temps et de l'historique des interactions entre le système et la personne âgée.



La Figure 5.2 décrit la hiérarchie des interfaces graphiques de SADIKIKOI.

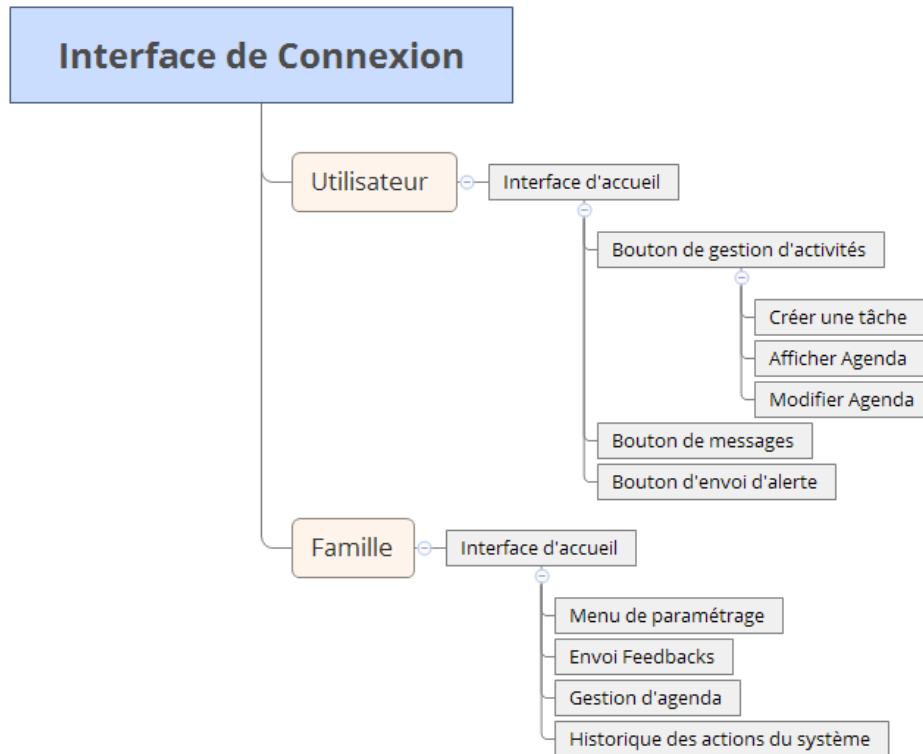


Figure 5.2 – Hiérarchie des menus de SADIKIKOI

## 5.2 Evaluation de l'acceptabilité de SADIKIKOI

Dans cette section, nous détaillons les critères d'évaluation qualitatifs adoptés pour juger de l'acceptabilité de notre système. L'étude d'acceptabilité des systèmes d'assistance des personnes ayant des déficiences cognitives par des chercheurs en Sciences Humaines et Sociales (SHS) est généralement réalisée quand le dispositif est opérationnel.

Nous avons quant à nous suivi une approche de conception centrée utilisateur basée sur les scénarios pour construire notre système avec l'objectif qu'il soit « bien pensé » et socialement accepté. Notre système n'est pas encore opérationnel, nous n'en avons développé qu'un prototype. Aussi, l'analyse de son acceptation n'a pu être que partiellement envisagée en interaction avec le groupe multidisciplinaire et quelques utilisateurs.

Nous discutons ici différents critères mais sommes conscients que la majorité d'entre eux auraient pu faire l'objet d'une expérimentation avec des utilisateurs, ce que nous n'avons pas eu le temps matériel de réaliser. Les critères d'acceptabilité de notre système

peuvent être examinés dans le cadre du modèle de [Nielsen et Phillips, 1993] (discuté au chapitre 1, section 1.2.1) résumé par la figure 5.3.

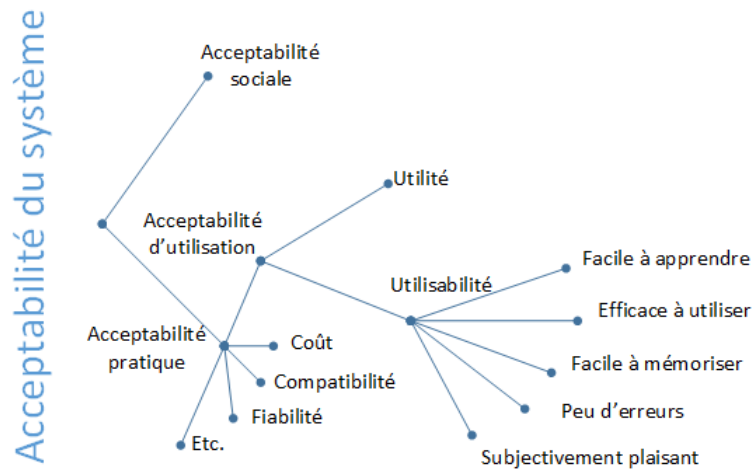


Figure 5.3 – Modèle de l’acceptabilité de Nielsen [Nielsen et Phillips, 1993]

Examinons *l’acceptabilité pratique*. Les critères tels que le coût et la fiabilité ne peuvent pas être évalués complètement à ce stade du développement. Le coût se résume aujourd’hui à la conception et au développement d’un prototype d’une application Android et éventuellement à l’acquisition d’un téléphone portable s’il n’est pas encore acquis. La fiabilité du comportement de notre prototype serait facilement analysable à partir d’un réseau de Petri qui synthétise le comportement centralisé à partir des scénarios (cf. chapitre 3), mais dans la version distribuée multi-agents nous n’avons pas réalisé de preuves de la fiabilité : nous l’avons seulement constatée par des tests. Elle demeure cependant restreinte puisque la connexion et l’interopérabilité à d’autres dispositifs externes (capteurs de rythme cardiaque, podomètre, montres connectées...) ne sont pas prises en compte dans le prototype.

Concernant *l’utilité* d’un tel dispositif simple, elle nous a été garantie par les différentes parties prenantes.

Concernant *l’utilisabilité* qui est principalement déterminée par l’interface utilisateur (présentation et dialogue), nous pouvons faire les remarques suivantes :

- *Facilité d’apprentissage* : SADIKIKOI offre une interface simple où n’importe quel service est accessible à partir de trois commandes au plus. L’interface ne demande pas un niveau d’expertise élevé, seules les connaissances basiques d’utilisation d’un smartphone sont requises. L’apprentissage ne peut qu’en être facilité même si des tests réels doivent être menés pour en décider.

- *Effizienz et efficacité* : la simplicité de l'interface, la prise en compte des buts de l'utilisateur dans la conception de SADIKIKOI et sa capacité d'adaptation nous indiquent que l'efficacité (capacité de l'utilisateur à atteindre ses buts) et l'effizienz (effort et ressources nécessaires pour réaliser un but) auront une forte probabilité d'être atteintes. En revanche, nous ne pouvons pas, sans tests réels, pronostiquer le contentement de l'utilisateur face à un tel dispositif et le réel confort que cela lui apportera qui demeurent subjectif.
- *Facilité de mémorisation* : Ici également, la simplicité de l'interface graphique (présentation et dialogue) et le nombre restreint de commandes ne peut que faciliter la mémorisation.
- *Peu d'erreurs* : l'évaluation de ce critère sera traitée lors de l'évaluation de l'apprentissage de SADIKIKOI (cf. section 5.3)

Au niveau de *l'acceptabilité sociale*, le dispositif vise plusieurs objectifs en faveur de ce critère. Il a pour but premier d'augmenter l'autonomie de l'utilisateur.

Le dispositif s'intègre dans un outil qui devient usuel (smartphone), du moins pour les générations de personnes âgées à venir, et de fait demeure discret.

La possibilité, offerte par SADIKIKOI, qu'il puisse communiquer et/ou alerter des proches est une valeur recherchée par les utilisateurs et leur environnement social proche.

L'intrusion que pourrait avoir le système peut être réglée d'une part par le contrôle que garde l'utilisateur sur le système, ce dernier pouvant être désactivé à tout moment, et d'autre part par l'apprentissage qui peut identifier les contextes où le système doit limiter ses interventions.

### 5.3 Evaluation de la capacité d'adaptation de notre système multi-agent : SADIKIKOI

Notre objectif est de développer un dispositif intelligent qui s'adapte à son environnement par l'apprentissage. La génération de cas de tests est cruciale pour forger l'expérience d'apprentissage de SADIKIKOI et ainsi que pour l'évaluer en analysant son comportement en réponse à différents scénarios.

Nous allons tout d'abord présenter le générateur de scénarios, son fonctionnement et sa relation avec SADIKIKOI, puis l'évaluation de l'apprentissage de SADIKIKOI en fonction des jeux de données générés.

Generator

Generator Variation

Number of Scenarios to generate : 100

Number of days to generate : 7

Perceptions Variation

Minimum number of perceptions in a scenario: 1

Maximum number of perceptions in a scenario: 3

Actions Variation

Minimum number of actions in a scenario: 1

Maximum number of perceptions in a scenario: 5

Tasks Variation

Minimum number of tasks in a scenario: 1

Maximum number of tasks in a scenario: 2

Number of scenario in a scenario sequence: 1

OK Annuler

Figure 5.4 – Générateur de scénarios : phase de paramétrage

### 5.3.1 Générateur de scénarios

Il s'agit d'analyser et d'améliorer le comportement de SADIKIKOI dans le contexte de différents scénarios où sont simulées les interactions de l'utilisateur avec son environnement social et spatial. Le générateur crée de nombreux scénarios virtuels pour une période donnée de temps paramétrable (par exemple : un jour, une semaine...).

Ces scénarios virtuels permettent d'assurer la phase d'apprentissage automatique sans mettre en danger et sans mobiliser les futurs utilisateurs.

Nous détaillerons les différents jeux de données utilisés pour évaluer l'apprentissage dans la section 5.3. Avant cela, nous allons détailler le fonctionnement de notre générateur de scénarios.

Comme nous l'avons vu dans le chapitre 3 section 3.4.4.1, le générateur de scénarios possède une phase de paramétrage qui permet de saisir les spécificités de l'utilisateur et ses préférences. La figure 5.4 illustre l'interface graphique de cette phase.

De nombreux paramètres peuvent être réglés avant de générer les scénarios, notamment la période d'activités de l'utilisateur (jour, semaine...) qui détermine le nombre total de scénarios générés, ou la fragilité de l'utilisateur qui détermine son niveau d'autonomie et donc le nombre d'actions du système.

Notre générateur visualise les scénarios sur un axe chronologique, voir figure 5.5. La fréquence d'apparition d'un scénario dépend de la probabilité d'apparition qui lui est associée. Chaque scénario représente une succession d'événements qui ont une relation

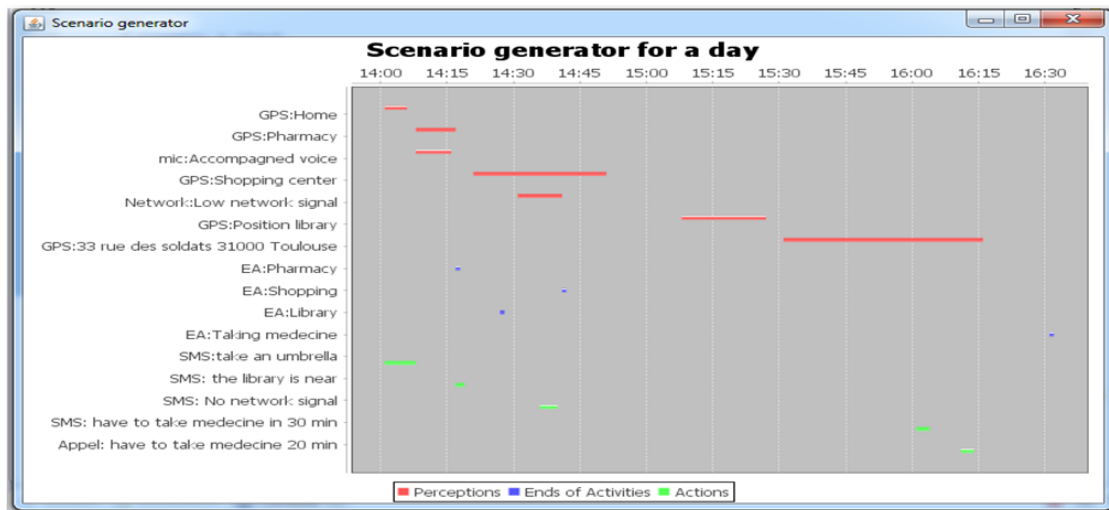


Figure 5.5 – L'interface du générateur de scénarios : représentation d'un jour de scénarios

logique (précédence, temporelle ou spatiale...).

Le générateur simule les événements par une combinaison de perceptions, d'actions systèmes ou tâches utilisateurs. Les tâches correspondent aux activités de l'utilisateur telles que "visite chez le médecin", "shopping", "promenade"...

La figure 5.5 montre une succession d'événements constituant un scénario où les différents types d'événements sont distingués par des couleurs. La sémantique associée à ces événements est donnée par le scénariste et non considérée par le générateur qui demeure symbolique. Nous pouvons observer dans la figure l'évolution des activités de l'utilisateur, les réactions du système, et la superposition d'événements qui montrent le possible comportement parallèle du système.

La figure 5.6, dans le paquetage de droite, présente les différentes composantes de SADIKIKOI et la composition de l'environnement. On peut y distinguer les interactions entre les trois types d'agents (Agents percept, contexte et effecteur). Le paquetage de gauche présente la structure d'un scénario telle que représentée par le générateur de scénarios (cf. chapitre 3).

### 5.3.2 Apprentissage de SADIKIKOI

Les scénarios générés intègrent des actions attendues du système pour faire face aux perceptions d'événements issues de l'environnement ou de tâches de l'utilisateur. Pour apprendre, le système procède en deux temps : i) il analyse les feedbacks reçus qui mesurent l'écart entre les actions effectives de notre système et celles attendues, et 2) il modifie son comportement pour réduire cet écart.

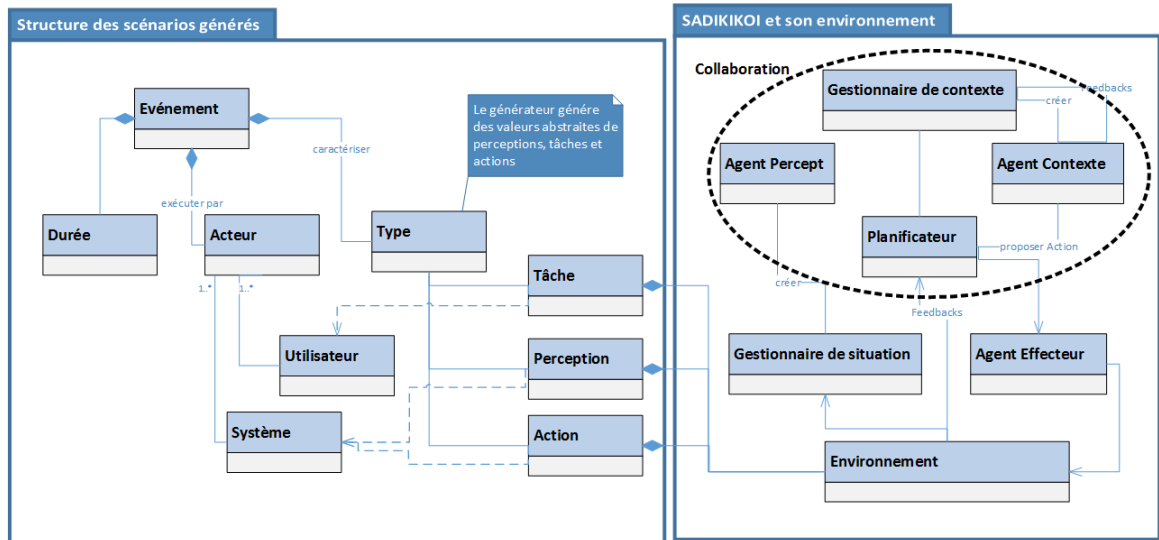


Figure 5.6 – Différents composants de l’environnement virtuel et de notre système

Nous avons défini deux jeux de tests pour mesurer l’efficacité de l’apprentissage :

*A* : un jeu de tests avec des scénarios répétitifs, pour mesurer en plus de l’efficacité, la stabilité de notre système : réactions identiques face à des contextes similaires. Ce jeu de scénarios se justifie dans notre contexte où une personne âgée a de fortes chances d’avoir des comportements récurrents avec des variations légères [Lin *et al.*, 2015] ;

*B* : un jeu de tests avec des scénarios aléatoires pour mesurer l’efficacité de l’adaptation de notre système face à des situations imprévues ;

L’efficacité va être mesurée à partir des variations suivantes du comportement du système :

- **True Positive (TP)** : situation où le système propose la bonne action ;
- **True Negative (TN)** : situation où le système ne propose aucune action et c’est ce qu’il fallait faire ;
- **False Positive (FP)** : situation où le système propose une action non pertinente ;
- **False Negative (FN)** : situation où le système ne propose aucune action alors qu’il fallait agir.

Les deux premiers comportements sont pertinents (bonnes recommandations) car ils correspondent au comportement attendu du système. Les deux suivants sont non pertinents (mauvaises recommandations). Sur cette base, nous définissons un ensemble d’indicateurs issus de l’état de l’art [Metz, 1978, Webb et Ting, 2005] :

- **La sensibilité**, appelée aussi rappel, mesure la proportion d’actions pertinentes effectuées par rapport au nombre total d’actions attendues du système. Elle se



Figure 5.7 – Diagramme d'évolution des agents contexte, de l'apprentissage et du temps d'exécution du jeu de tests A

calcule par la formule suivante :  $S_b = TP / (TP + FN)$  ;

- **La spécificité** mesure la proportion de non-réactions pertinentes par rapport au nombre total de non-réactions attendues du système. Elle se calcule par :  $S_p = TN / (TN + FP)$  ;
- **La précision** mesure la proportion d'actions pertinentes parmi toutes les actions proposées. Elle se calcule par :  $Pr = TP / (TP + FP)$ .

Nous donnerons également **la performance** de notre système qui évalue le nombre d'agents contextes créés et le temps d'exécution en fonction du nombre d'événements.

Ces mesures seront dans la suite représentées par des courbes et discutées. Ces tests ont été effectués sur un ordinateur portable classique (Intel i7, 6Go RAM) de l'année 2010.

### 5.3.2.1 Jeu de tests A : des scénarios répétitifs

Nous avons créé une simulation de 60 jours qui combine de manière aléatoire deux scénarios. Un même scénario peut donc se retrouver plusieurs fois et avec des durées d'événements variables.

Nous avons paramétré le générateur de façon à ce qu'une journée soit composée de deux à trois scénarios au plus.

La figure 5.7 met en évidence l'évolution de la performance de SADIKIKOI. L'axe horizontal décrit le nombre d'événements générés et l'axe vertical donne trois mesures différentes dans trois graphiques :

- *le premier graphe* décrit l'évolution du nombre de contextes en fonction du nombre d'événements : nous constatons la création des deux agents contextes seulement (le premier au 7ème événement et le deuxième au 30ème événement). La création des agents contextes n'est pas immédiate puisqu'elle est déclenchée par les feedbacks négatifs reçus de l'environnement, qui sont généralement différés. Rappelons, comme détaillé dans le chapitre 4, que l'agent contexte permet de proposer l'action à effectuer selon les perceptions reçues. Le fait que le nombre d'agents contextes soit égal au nombre de scénarios et que ce nombre n'ait pas évolué malgré les variations des durées des événements, démontrent la stabilité de notre système.
- *Le second graphe* décrit le nombre cumulé de bonnes recommandations et celui des mauvaises en fonction du nombre d'événements. Pour ce jeu de tests, le nombre cumulé de mauvaises recommandations stagne à partir du trentième événement qui coïncide avec la fin de la création de deux agents contextes. Inversement, le nombre cumulé de bonnes recommandations augmente. Notre système a donc appris à distinguer les deux possibles scénarios et à recommander les bonnes actions.
- *Le troisième graphe* présente le temps d'exécution (en milliseconde) de SADIKIKOI en fonction du nombre d'événements rencontré au cours de la simulation. Nous constatons des valeurs importantes au début qui correspondent à la création des agents percepts et l'analyse des feedbacks (jusqu'à 300 ms). Par la suite, nous constatons deux autres pics, correspondant aux créations des agents contextes (7ème et 30ème événement donnant lieu à 52 et 33 millisecondes). Au-delà, le temps est en dessous de 10 millisecondes, ce qui nous paraît très acceptable. Il faut cependant modérer ce résultat du fait du nombre limité de contextes.

Examinons maintenant l'efficacité de notre système. La figure 5.8 montre l'évolution du comportement des agents contextes décrite par les courbes de sensibilité, spécificité et précision.





Figure 5.8 – Mesure de l’efficacité pour le jeu de tests A

Nous constatons que les trois courbes arrivent à un seuil proche de 1 à partir du 30ème événement. La courbe de sensibilité se stabilise après la création du deuxième agent contexte qui permettra au système de générer toutes les actions attendues.

Pour conclure, ce jeu de tests nous a permis de vérifier la capacité du système à apprendre les deux contextes rencontrés, sa rapidité d’apprentissage et sa stabilité.

### 5.3.2.2 Jeu de tests B : des scénarios aléatoires

Nous avons créé une simulation de 300 jours qui combine des scénarios pris aléatoirement dans une banque de 1000 scénarios. Le nombre de scénarios utilisés est variable puisqu’il dépend de la durée de chacun des scénarios sélectionnés.

La figure 5.9 met en évidence l’évolution de la performance de SADIKIKOI dans ce nouveau jeu de tests qui génère jusqu’à 2800 événements (contre 560 pour le jeu de tests précédent). L’axe horizontal décrit le nombre d’événements générés et l’axe vertical donne trois mesures différentes dans trois graphes différents :

- *Le premier graphe* décrit l’évolution du nombre d’agents contexte en fonction du nombre d’événements. Nous remarquons que SADIKIKOI a créé 400 agents contexte pour les 2800 événements générés. Le nombre d’agent contexte progresse de manière linéaire en fonction du nombre d’événements. Il ne se stabilise pas, probablement du fait de l’aspect aléatoire des scénarios qui peuvent créer à tout moment des situations imprévisibles nécessitant la création de nouveaux

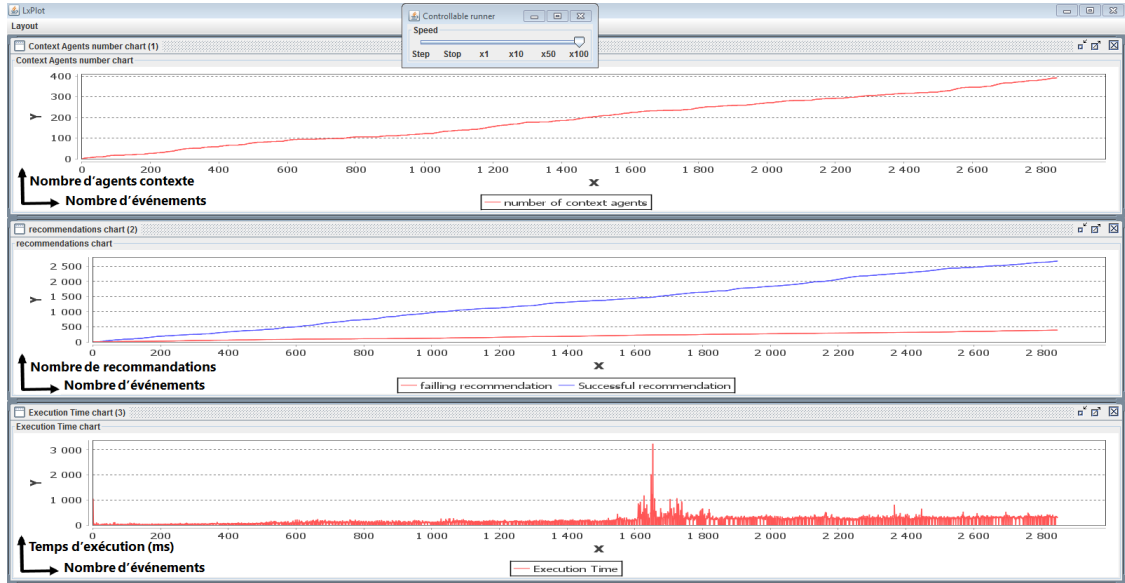


Figure 5.9 – Diagramme d'évolution des agents contexte, de l'apprentissage et du temps d'exécution pour le jeu de tests B

contextes.

- *Le deuxième graphe* illustre le nombre cumulé de bonnes et mauvaises recommandations effectuées par le système. Nous constatons que notre système apprend raisonnablement bien : les recommandations pertinentes sont cinq fois plus importantes que les mauvaises. Le nombre de mauvaises recommandations ne se stabilise pas du fait de l'imprévisibilité des scénarios qui nécessitent des réajustements et de l'apprentissage permanent.
- *Le troisième graphe* montre le temps d'exécution. Nous constatons que le temps de réaction du système augmente en fonction du nombre d'événements mais il reste inférieur à 0.5 seconde qui est un temps raisonnable. Nous constatons cependant une perturbation isolée autour de l'événement 1600 pour laquelle nous n'avons pas d'explication.

La figure 5.10 détaille les quatre types de variations (True Positive, True Negative, False Positive, False Négative).

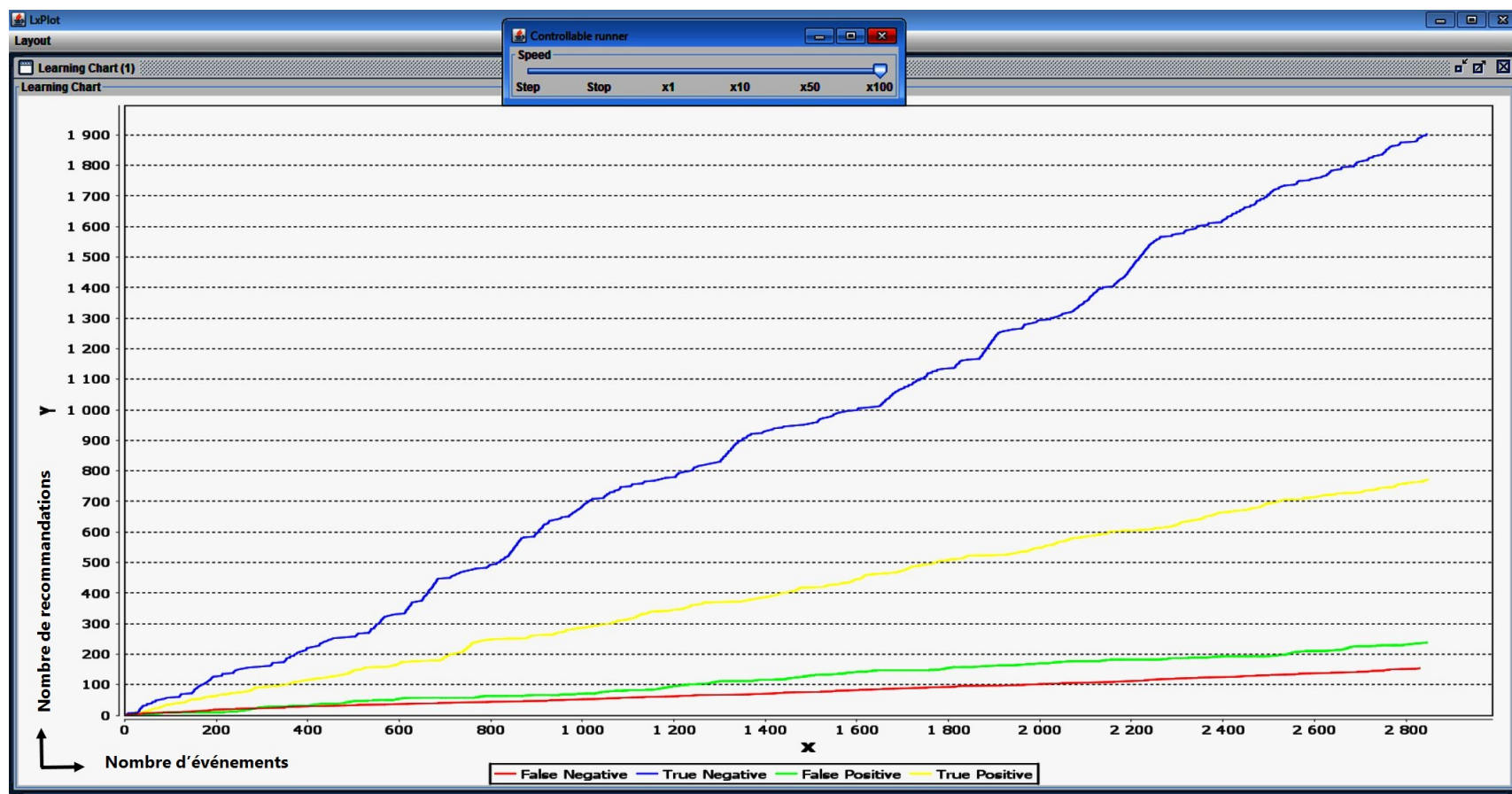


Figure 5.10 – Diagramme des variations (True Positive, True Negative, False Positive False Négative) pour le jeu de tests B

Considérant les bonnes recommandations, nous pouvons constater que la courbe « True Negative » est supérieure à celle du « True Positive », ce que nous pouvons interpréter comme suit : le système est le plus souvent en observation qu'en recommandation, ce qui peut diminuer l'intrusion. La position des deux courbes « False Positive » et « False Négative » montrent que le système est plus réactif que passif face à des situations inconnus puisqu'il cherche à apprendre.

La figure 5.11 illustre les courbes d'efficacité du jeu de tests B.

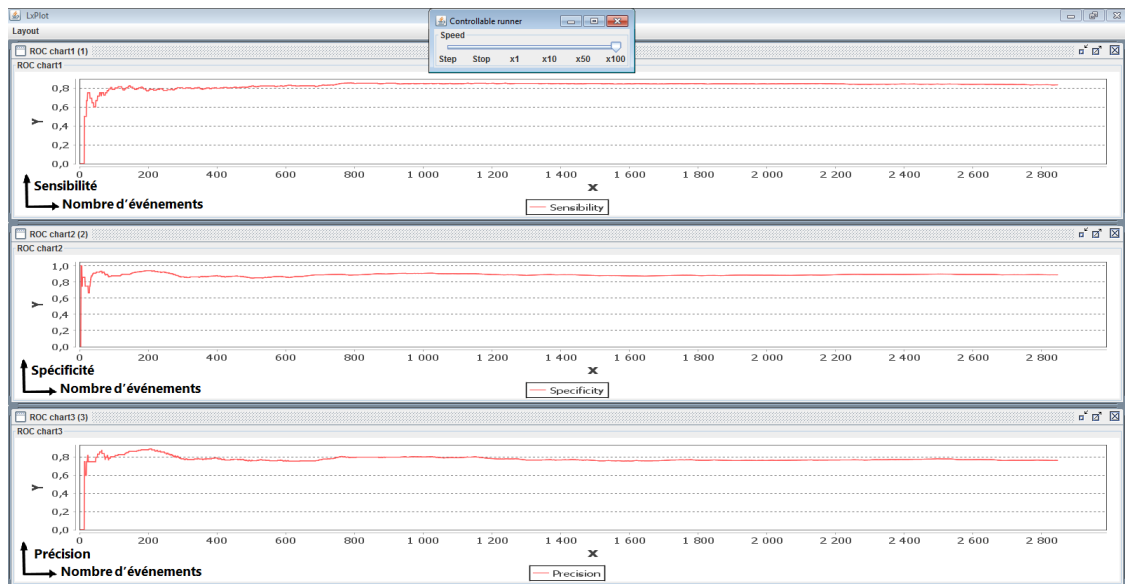


Figure 5.11 – Les courbes de d'efficacité du jeu de tests B

*Le premier graphe* de sensibilité affiche la proportion de bonnes actions par rapport au nombre total d'actions prévues. La sensibilité tend rapidement vers "0.8". Il y a quelques perturbations, avant les 200 premiers événements, correspondant vraisemblablement à une phase d'apprentissage.

*Le deuxième graphe* de spécificité illustre la proportion de non-réactions pertinentes par rapport au nombre total de non-réactions attendues du système. La spécificité se stabilise à partir de 600 événements pour atteindre une valeur proche de "0.9".

*Le troisième graphe* donne la précision, c'est à dire la proportion d'actions pertinentes parmi toutes les actions proposées. La précision tend vers "0.8", ce qui est une valeur correcte mais pas complètement satisfaisante. Elle s'explique par l'aspect évolutif et imprévisible des événements générés qui n'interdit pas des comportements

contradictaires.

Sur l'ensemble du jeu de tests B, basé sur 1000 scénarios, nous pouvons faire les conclusions suivantes. La performance de SADIKIKOI est satisfaisante. Il réagit conformément à nos attentes en créant un nombre de contextes raisonnable, 400 agents contexte pour 2800 événements générés. Le temps de réponse à un événement est aussi acceptable (inférieur ou égal à 0.5 seconde). Son efficacité est relativement bonne (0.8 de précision, 0.9 de spécificité, 0.8 de sensibilité) mais pas optimale. Ce résultat s'explique par l'imprédictibilité de l'environnement qui est de plus accentuée ici par le nombre de scénarios considérés : jusqu'à 1000 ! Ce nombre permet d'estimer les limites de notre modèle (passage à l'échelle). Toutefois dans la réalité il peut être nettement plus réduit dans la mesure où la population ciblée a tendance à reproduire des scénarios à l'identique et que la part d'aléatoire peut être moins importante que celle que nous avons envisagée.

## 5.4 Discussion

Ce chapitre a permis de présenter notre prototype SADIKIKOI et son évaluation. La Table 5.1 positionne SADIKIKOI par rapport aux critères d'évaluation étudiés au chapitre 2 et qui permettent de comparer les systèmes ambiants d'assistance existants entre eux.

La discussion autour de l'acceptabilité a montré que l'acceptabilité pratique était raisonnablement atteinte à ce niveau. SADIKIKOI est personnalisable puisque il est configurable selon les caractéristiques de l'utilisateur (i.e. niveau d'autonomie, centres d'intérêt...), de plus, il s'adapte au fur et à mesure aux préférences de l'utilisateur et apprend ses habitudes, routines... Cependant, l'étude complète de l'acceptabilité nécessitera des enquêtes auprès d'utilisateurs une fois le système complètement implémenté. De même, une vérification de sa fiabilité est nécessaire, en situation réelle, pour considérer l'interopérabilité et la connexion à d'autres dispositifs externes.

En ce qui concerne l'acceptabilité sociale, le style de notre conception centrée utilisateur, le type de dispositif choisi (un smartphone), l'ouverture sur l'environnement social de l'utilisateur et le calibrage possible du contrôle font que le système encouragera probablement à l'autonomie de l'utilisateur dans un contexte peu intrusif.

L'implémentation et les nombreuses mesures qui ont porté sur l'efficacité et la performance de l'apprentissage sont aussi encourageantes. Notre prototype a des temps de réponses acceptables et il est capable d'apprendre face des situations imprévues avec un bon taux de précision. Il faut rappeler que cette capacité d'apprentissage démontre également la capacité d'auto-organisation de nos agents car il s'agit d'un apprentissage par équipe. Le système n'étant qu'à un stade de prototype, nous sommes conscients que

	Disciplines	Critères	Sous-critères	SADIKIKOI
SHS	Usager	Besoins fonctionnels	Autonomie	X
			Mobilité	X
			Confort	
			Protection	X
		Besoins non fonctionnels	Sécurité et confidentialité	non
			Personnalisation	oui
			Couverture (absolue/ limitée)	absolu
INFORMATIQUE	Méthodes de conception	Interdisciplinarité		oui
		Conception orienté utilisateur		oui
	Les caractéristiques des systèmes ambiants d'assistance	Distribution		+
		Sensibilité au contexte		+
		Adaptation/évolution		+
		Interopérabilité		-
		Transparence (technologie des capteurs)		smartphone
	Domaines d'application	Détection d'urgence		X
		Guidance cognitive		X
		Surveillance de la santé		
		Assistance de l'activité	ADL	X
			IADL	
			EADL	
	Algorithmes et méthodes	Algorithme de reconnaissance d'activité		
		Système d'aide à la décision		
		Découverte du modèle comportemental		
		Apprentissage		X
		Systèmes multi-agents		X

Table 5.1 – Positionnement de SADIKIKOI (⊖ : Non Mentionné; +/- : existe /ou pas ; x : objectifs et techniques utilisées)

d'autres analyses devront être nécessaires pour le système final. Mais, d'ores et déjà, cette évaluation démontre, à notre avis, la faisabilité de notre approche.

---

## CONCLUSION GÉNÉRALE





---

# Conclusion Générale

Le travail réalisé dans ce manuscrit s'inscrit dans le cadre de l'accessibilité des espaces publics urbains aux personnes âgées, fragiles et dépendantes, afin de leur permettre de conserver leur vie sociale et d'accéder aux services urbains de manière plus autonome, en minimisant le recours à des personnes accompagnantes. Il s'agissait de concevoir et implémenter un dispositif qui facilite leur mobilité en ville et capable de les assister à la réalisation de tâches quotidiennes qu'ils ont définies. Une des contraintes forte était aussi de suivre et proposer une approche de conception centrée utilisateur et pluridisciplinaire. Nous n'avons pas abouti à un outil complètement opérationnel, mais réussi à concevoir un cadre conceptuel général réutilisable permettant de développer des systèmes sociotechniques ambiants destinés à cette population fragile et à développer un prototype SADIKIKOI permettant de réaliser des simulations sur l'aspect essentiel de ce système : l'apprentissage.

## Bilan

Plus précisément, nous pouvons synthétiser ainsi nos trois contributions essentielles et leur originalité :

- **Une approche de conception centrée utilisateur basée sur les scénarios.** Nous en avons donné les principes, le cycle de vie et les langages, modèles et outils supports. L'état de l'art nous a conduit à considérer l'utilité, l'utilisabilité et l'acceptabilité comme des critères centraux à prendre en compte et les scénarios comme un outil facilitateur pour le recueil des besoins. Nous avons montré, à travers la mise en œuvre de notre approche, le possible rôle multifonctions des scénarios et leur couverture du cycle de vie. Nous avons également donné une représentation formalisée des scénarios à l'aide d'un méta-modèle. Cette approche dépasse le cadre applicatif de cette thèse et nous semble adaptée à toute conception de systèmes socio-techniques ambiants (SSTA) destinés aux personnes âgées et indépendamment de la fonction du dispositif visé.

- **Une conception logicielle d'un Système multi-agent adaptatif ambiant d'assistance : SADIKIKOI.** L'architecture multi-agent proposée et l'apprentissage coopératif qu'elle intègre nous semblent particulièrement adaptés à des SSTA qui doivent se déployer dans un univers d'entités logicielles et physiques et interagir dans un environnement ouvert, dynamique et imprévisible. Ici, une des originalités de notre travail réside dans la modélisation des contextes comme des agents à part entière sur lesquels repose un apprentissage par auto-organisation. Ici, également, notre architecture logicielle (agents, leurs comportements, leurs protocoles d'interactions, leurs organisations) est réutilisable dans d'autres domaines d'application distribués nécessitant un comportement coopératif s'adaptant au contexte.
- **L'expérimentation du système SADIKIKOI** démontre la faisabilité de notre proposition concernant notamment les capacités d'apprentissage en termes de recommandations à fournir à l'utilisateur.

A l'issue de cette thèse, nous avons pu identifier plusieurs limites de notre travail exigeant des améliorations de nos propositions :

1. Cette thèse nous a permis de nous rendre compte des richesses mais aussi des difficultés du travail multidisciplinaire. Les difficultés se sont situées à deux niveaux :
  - (a) Au niveau organisationnel. Il nous a été difficile de mobiliser de manière constante le groupe d'experts multidisciplinaires. L'intérêt s'estompé progressivement car beaucoup de temps est nécessaire avant que les résultats motivants apparaissent ;
  - (b) Au niveau lexical et conceptuel, il est difficile et long d'obtenir une compréhension commune et partagée du domaine, du problème et du type de solutions à envisager. A titre anecdotique, nous avons constaté lors des premières rencontres qu'un même mot pouvait par exemple désigner des réalités différentes selon la discipline.
2. Notre évaluation expérimentale est limitée à des scénarios symboliques au niveau des activités considérées, bien que le générateur produise des scénarios avec une structure conforme au méta-modèle de scénarios et aux exigences. Pour une validation complète, il est indispensable de tester des scénarios réels se déployant dans des environnements effectifs (non simulés) et avec des utilisateurs âgés atteints de déficiences cognitives.
3. Sur l'aspect apprentissage, notre système n'a pas fait l'objet de comparaisons avec d'autres systèmes d'assistance. Il serait intéressant de comparer l'efficacité de nos algorithmes d'apprentissage avec ceux mis en œuvre dans ses systèmes notamment pour la reconnaissance de comportement [Lin *et al.*, 2015].

4. Enfin, il faut reconnaître que les problèmes d'interopérabilité entre outils et de sécurité du dispositif n'ont jusqu'ici pas été vraiment traités.

## Perspectives

Ce travail ouvre enfin quelques perspectives de recherche :

- Vers un système de gestion de scénarios. Comme nous avons pu le dire les scénarios constituent un concept central de notre approche. Son exploitation peut aussi se généraliser facilement à d'autres domaines d'application. Son utilisation dans ses différentes formes et dans les différentes étapes de cycle de vie pourrait être facilitée par un outil centralisé permettant leur ingénierie : édition, recherche et sélection multi-critères (selon les objectifs, forme, contenu...), vérification, analyse et simulation. Un tel outil peut ainsi garantir la cohérence de l'approche suivie, automatiser les transformations de formes et faciliter la réutilisation de scénarios ou de certains fragments.
- Consolider notre approche de conception centrée utilisateur. Nous souhaitons procéder à l'expérimentation de notre outil et mobiliser à cette occasion de nouveau notre groupe de travail pluridisciplinaire maintenant que nous disposons d'un prototype. Ces deux activités nous permettront d'avoir un avis et des retours plus complets sur notre approche. Aussi, nous chercherons à l'appliquer à d'autres domaines si les opportunités se présentent.
- Notre système pourrait être étendu pour anticiper et prédire des situations et de ce fait exhiber un comportement plus pro-actif en suggérant des recommandations permettant d'éviter des situations futures à risques. Dans le même sens, les recommandations peuvent être plus ouvertes vers l'extérieur en y intégrant des préférences de membres de communautés proches de l'utilisateur de sorte à apporter de la nouveauté dans les activités et ne pas se cantonner à celles préétablies.



---

# Bibliographie

- [Adler et Adler, 1987] ADLER, P. A. et ADLER, P. (1987). *Membership roles in field research*, volume 6. Sage.
- [Adler et Adler, 1994] ADLER, P. A. et ADLER, P. (1994). *Observational techniques : Handbook of qualitative research*. Sage publications, inc.
- [Aghajan et al., 2007] AGHAJAN, H., AUGUSTO, J. C., WU, C., MCCULLAGH, P. et WALKDEN, J.-A. (2007). “distributed vision-based accident management for assisted living.”. *Proc. Int. Conf. Smart Homes Health Telemat*, page 196–205.
- [Agrawal et al., 1994] AGRAWAL, R., SRIKANT, R. et al. (1994). Fast algorithms for mining association rules. *In Proc. 20th int. conf. very large data bases, VLDB*, volume 1215, pages 487–499.
- [Akrich, 1991] AKRICH, M. (1991). L’analyse socio-technique.
- [Alaoui, 2013] ALAOUI, M. (2013). *Application d’une démarche Living Lab au développement de services de TV sociale dédiés aux personnes âgées*. Thèse de doctorat, L’université de technologie de Troyes.
- [Alaoui et Lewkowicz, 2014] ALAOUI, M. et LEWKOWICZ, M. (2014). Lessons learnt from the socio-technical design of social tv services with elderly. *International Journal of Sociotechnology and Knowledge Development (IJSKD)*, 6(2):1–16.
- [Alaoui et al., 2014] ALAOUI, M., TING, K. L. H. et LEWKOWICZ, M. (2014). The urge for empirically-informed design of social-oriented aal applications—the example of 2 aal projects. *Procedia Computer Science*, 27:379–388.
- [Alves de Medeiros et al., 2004] ALVES de MEDEIROS, A., VAN DONGEN, B., VAN DER AALST, W. et WEIJTERS, A. (2004). Process mining : Extending the  $\alpha$ -algorithm to mine short loops. Rapport technique, BETA Working Paper Series.
- [Andoh et al., 2003] ANDOH, H., ISHIKAWA, T., KOBAYASHI, K., WATANABE, K. et NAKAMURA, T. (2003). Home health monitoring system in the sleep. *In SICE 2003 Annual Conference*, volume 2, pages 1223–1226. IEEE.

- [Andonoff *et al.*, 2012] ANDONOFF, E., HANACHI, C. et NURCAN, S. (2012). Adaptation des processus d'entreprise. *L'adaptation dans tous ses états*, pages 78–122.
- [Anliker *et al.*, 2004] ANLIKER, U., WARD, J. A., LUKOWICZ, P., TROSTER, G., DOLVECK, F., BAER, M., KEITA, F., SCHENKER, E. B., CATARSI, F., COLUCCINI, L. *et al.* (2004). Amon : a wearable multiparameter medical monitoring and alert system. *IEEE transactions on information technology in biomedicine*, 8(4):415–427.
- [B.-N. Sanders, 2006] B.-N. SANDERS, E. (2006). Design research in 2006. *In Design research quarterly*, pages 1–8.
- [Baker, 2006] BAKER, L. (2006). Observation : A complex research method. *Library trends*, 55(1):171–189.
- [Ballon *et al.*, 2007] BALLON, P., PIERSON, J. et DELAERE, S. (2007). Fostering innovation in networked communications : Test and experimentation. *Designing for networked communications : Strategies and development*, page 137.
- [Basten *et al.*, 2007] BASTEN, T., GEILEN, M. et de GROOT, H. (2007). *Ambient intelligence : impact on embedded system design*. Springer.
- [Bazire et Brézillon, 2005] BAZIRE, M. et BRÉZILLON, P. (2005). Understanding context before using it. *In International and Interdisciplinary Conference on Modeling and Using Context*, pages 29–40. Springer.
- [Beyer et Holtzblatt, 1997] BEYER, H. et HOLTZBLATT, K. (1997). *Contextual design : defining customer-centered systems*. Elsevier.
- [Boes *et al.*, 2015] BOES, J., NIGON, J., VERSTAEVEL, N., GLEIZES, M.-P. et MIGEON, F. (2015). The self-adaptive context learning pattern : Overview and proposal. *In International and Interdisciplinary Conference on Modeling and Using Context*, pages 91–104. Springer.
- [Börjeson *et al.*, 2006] BÖRJESON, L., HÖJER, M., DREBORG, K.-H., EKVALL, T. et FINNVEDEN, G. (2006). Scenario types and techniques : towards a user's guide. *Futures*, 38(7):723–739.
- [Boukharrou *et al.*, 2015] BOUKHARROU, R., CHAOUCHE, A.-C., SEGHRUCHNI, A. E. F., ILIÉ, J.-M. et SAÏDOUNI, D. E. (2015). Dealing with temporal failure in ambient systems : a dynamic revision of plans. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 6(3):325–336.
- [Brax *et al.*, 2012] BRAX, N., ANDONOFF, E. et GLEIZES, M.-P. (2012). A self-adaptive multi-agent system for abnormal behavior detection in maritime surveillance. *In KES International Symposium on Agent and Multi-Agent Systems : Technologies and Applications*, pages 174–185. Springer.
- [Busoniu *et al.*, 2008] BUSONIU, L., BABUSKA, R. et DE SCHUTTER, B. (2008). A comprehensive survey of multiagent reinforcement learning. *IEEE Transactions on Systems, Man, And Cybernetics-Part C : Applications and Reviews*, 38 (2), 2008.

- [Callon *et al.*, 2007] CALLON, M., MILLO, Y., MUNIESA, F. *et al.* (2007). Market devices. Rapport technique.
- [Capera *et al.*, 2003] CAPERA, D., GEORGÉ, J.-P., GLEIZES, M.-P. et GLIZE, P. (2003). The amas theory for complex problem solving based on self-organizing cooperative agents. In *Enabling Technologies : Infrastructure for Collaborative Enterprises, 2003. WET ICE 2003. Proceedings. Twelfth IEEE International Workshops on*, pages 383–388. IEEE.
- [Carroll, 2000] CARROLL, J. M. (2000). *Making use : scenario-based design of human-computer interactions*. MIT press.
- [Chaib-Draa et Levesque, 1994] CHAIB-DRAA, B. et LEVESQUE, P. (1994). Hierarchical models and communication in multi-agent environments. In *Proceedings of the Sixth European Workshop on Modelling Autonomous Agents and Multi-Agent Worlds (MAAMAW-94)*, pages 119–134.
- [Cooper, 1999] COOPER, A. (1999). The inmates are running the asylum. *Software-Ergonomie'99 : Design von Informationswelten*.
- [Cornuéjols et Miclet, 2011] CORNUÉJOLS, A. et MICLET, L. (2011). *Apprentissage artificiel : concepts et algorithmes*. Editions Eyrolles.
- [Coutaz et Crowley, 2008] COUTAZ, J. et CROWLEY, J. (2008). Plan “intelligence ambiante” : Défis et opportunités. *Document de réflexion conjoint du comité d’experts «Informatique Ambiante» du département ST2I du CNRS et du Groupe de Travail «Intelligence Ambiante» du Groupe de Concertation Sectoriel (GCS3) du Ministère de l’Enseignement Supérieur et de la Recherche*, 1.
- [Czarnuch et Mihailidis, 2011] CZARNUCH, S. et MIHAILIDIS, A. (2011). The design of intelligent in-home assistive technologies : Assessing the needs of older adults with dementia and their caregivers. *technology*, 10(3):169–182.
- [Demazeau et Costa, 1996] DEMAZEAU, Y. et COSTA, A. R. (1996). Populations and organizations in open multi-agent systems. In *Proceedings of the 1st National Symposium on Parallel and Distributed AI*, pages 1–13.
- [Di Rienzo *et al.*, 2005] DI RIENZO, M., RIZZO, F., PARATI, G., BRAMBILLA, G., FER-RATINI, M. et CASTIGLIONI, P. (2005). Magic system : A new textile-based wearable device for biological signal monitoring. applicability in daily life and clinical setting. In *Engineering in Medicine and Biology Society, 2005. IEEE-EMBS 2005. 27th Annual International Conference of the*, pages 7167–7169. IEEE.
- [Dubowsky *et al.*, 2000] DUBOWSKY, S., GENOT, F., GODDING, S., KOZONO, H., SK-WEBSKY, A., YU, H. et YU, L. S. (2000). “pamm—a robotic aid to the elderly for mobility assistance and monitoring for the elderly,”. *Proc. Robot. Autom. Conf.*, 1:570–576.

- [Dujardin *et al.*, 2011] DUJARDIN, T., ROUILLARD, J., ROUTIER, J.-C., TARBY, J.-C. *et al.* (2011). Gestion intelligente d'un contexte domotique par un système multi-agents. *Journées Francophones sur les Systèmes Multi-Agents (JFSMA)*, pages 137–146.
- [Eisma *et al.*, 2004] EISMA, R., DICKINSON, A., GOODMAN, J., SYME, A., TIWARI, L. et NEWELL, A. F. (2004). Early user involvement in the development of information technology-related products for older people. *Universal Access in the Information Society*, 3(2):131–140.
- [Eklund *et al.*, 2005] EKLUND, J. M., SPRINKLE, J., SASTRY, S. et HANSEN, T. R. (2005). Information technology for assisted living at home : building a wireless infrastructure for assisted living. *27th Annual International Conference of the In 2005 IEEE Engineering in Medicine and Biology*, pages 3931–3934.
- [El Kharbili *et al.*, 2008] EL KHARBILI, M., de MEDEIROS, A. K. A., STEIN, S. et van der AALST, W. M. (2008). Business process compliance checking : Current state and future challenges. *MobIS*, 141:107–113.
- [Eriksson *et al.*, 2005] ERIKSSON, M., NIITAMO, V.-P. et KULKKI, S. (2005). State-of-the-art in utilizing living labs approach to user-centric ict innovation-a european approach. *Lulea : Center for Distance-spanning Technology. Lulea University of Technology Sweden : Lulea*.
- [Ferber, 1995] FERBER, J. (1995). *Les systèmes multi-agents : vers une intelligence collective*. InterEditions.
- [Ferber, 1999] FERBER, J. (1999). *Multi-agent systems : an introduction to distributed artificial intelligence*, volume 1. Addison-Wesley Reading.
- [Ferber et Gutknecht, 1998] FERBER, J. et GUTKNECHT, O. (1998). A meta-model for the analysis and design of organizations in multi-agent systems. *In Multi Agent Systems, 1998. Proceedings. International Conference on*, pages 128–135. IEEE.
- [Fleck et Strasser, 2008] FLECK, S. et STRASSER, W. (2008). “smart camera based monitoring system and its application to assisted living,”. *Proc. IEEE*, 96(10):1698–1714.
- [Fondation de France, 2014] Fondation de FRANCE, L. (2014). Les solitudes en france.
- [Foster *et al.*, 2004] FOSTER, I., KESSELMAN, C. et TUECKE, S. (2004). 17 chapter the open grid services architecture. *The Grid : Blueprint for a New Computing Infrastructure*, 1.
- [Fudickar et Schnor, 2009] FUDICKAR, S. et SCHNOR, B. (2009). Kopal—a mobile orientation system for dementia patients. *In Intelligent Interactive Assistance and Mobile Multimedia Computing*, pages 109–118. Springer.



- [Fudickar *et al.*, 2011] FUDICKAR, S. J., FAERBER, S. et SCHNOR, B. (2011). Kopal appointment user-interface : an evaluation with elderly. *In Proceedings of the 4th International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments*, page 42. ACM.
- [García *et al.*, 2009] GARCÍA, Ó., TAPIA, D. I., SAAVEDRA, A., ALONSO, R. S. et GARCÍA, I. (2009). Alz-mas 2.0 ; a distributed approach for alzheimer health care. *In 3rd Symposium of Ubiquitous Computing and Ambient Intelligence 2008*, pages 76–85. Springer.
- [Gemayel, 2013] GEMAYEL, J. E. (2013). *Modèles de la rationalité des acteurs sociaux*. Thèse de doctorat, Université Toulouse 1 Capitole (UT1 Capitole).
- [Gleizes *et al.*, 2017] GLEIZES, M.-P., BOES, J., LARTIGUE, B. et THIÉBOLT, F. (2017). neocampus : A demonstrator of connected, innovative, intelligent and sustainable campus. *In International Conference on Intelligent Interactive Multimedia Systems and Services*, pages 482–491. Springer.
- [Gold, 1958] GOLD, R. L. (1958). Roles in sociological field observations. *Social forces*, pages 217–223.
- [Grudin et Pruitt, 2002] GRUDIN, J. et PRUITT, J. (2002). Personas, participatory design and product development : An infrastructure for engagement. *In PDC*, pages 144–152.
- [Guivarch *et al.*, 2014] GUIVARCH, V., CAMPS, V., PÉNINOU, A. et GLIZE, P. (2014). Self-adaptation of a learnt behaviour by detecting and by managing user’s implicit contradictions. *In Web Intelligence (WI) and Intelligent Agent Technologies (IAT), 2014 IEEE/WIC/ACM International Joint Conferences on*, volume 3, pages 24–31. IEEE.
- [Gulliksen *et al.*, 2003] GULLIKSEN, J., GÖRANSSON, B., BOIVIE, I., BLOMKVIST, S., PERSSON, J. et CAJANDER, Å. (2003). Key principles for user-centred systems design. *Behaviour and Information Technology*, 22(6):397–409.
- [Hanachi, 2003] HANACHI, C. (2003). *La coordination dans les systèmes d’information orientés agents*. Habilitation à diriger des recherches, Université des Sciences Sociales, Toulouse, France.
- [Hatchuel *et al.*, 2002] HATCHUEL, A., LE MASSON, P. et WEIL, B. (2002). De la gestion des connaissances aux organisations orientées conception. *Revue internationale des sciences sociales*, (1):29–42.
- [Helal *et al.*, 2005] HELAL, S., MANN, W., EL-ZABADANI, H., KING, J., KADDOURA, Y. et JANSEN, E. (2005). The gator tech smart house : A programmable pervasive space. *Computer*, 38(3):50–60.
- [Hix et Hartson, 1993] HIX, D. et HARTSON, H. R. (1993). *Developing user interfaces : ensuring usability through product & process*. John Wiley & Sons, Inc.

- [Hodgins *et al.*, 2008] HODGINS, D., BERTSCH, A., POST, N., FRISCHHOLZ, M., VOLCKAERTS, B., SPENSLEY, J., WASIKIEWICZ, J., HIGGINS, H., VON STETTEN, F. et KENNEY, L. (2008). Healthy aims : Developing new medical implants and diagnostic equipment. *IEEE Pervasive Computing*, 7(1):14–21.
- [Holtzblatt *et al.*, 2004] HOLTZBLATT, K., WENDELL, J. B. et WOOD, S. (2004). *Rapid contextual design : a how-to guide to key techniques for user-centered design*. Elsevier.
- [Hwang *et al.*, 2012] HWANG, A. S., TRUONG, K. N. et MIHAILIDIS, A. (2012). Using participatory design to determine the needs of informal caregivers for smart home user interfaces. In *Pervasive Computing Technologies for Healthcare (PervasiveHealth)*, 2012 6th International Conference on, pages 41–48. IEEE.
- [ISO, 1998] ISO, S. (1998). 9241-11 (1998). *Ergonomic Requirements for Office Work with Visual Display Terminals (VDTs)–Part II Guidance on Usability*.
- [ISO, 1999] ISO, S. (1999). 13407 : 1999. *Human-centred design processes for interactive systems*.
- [Jennings et Wooldridge, 1998] JENNINGS, N. et WOOLDRIDGE, M. J. (1998). *Agent technology : foundations, applications, and markets*. Springer Science & Business Media.
- [Jones *et al.*, 2000] JONES, S., CUNNINGHAM, S. J., MCNAB, R. et BODDIE, S. (2000). A transaction log analysis of a digital library. *International Journal on Digital Libraries*, 3(2):152–169.
- [Kahl, 2011] KAHL, V. (2011). Application of user-centered design for a student case management system.
- [Kanis *et al.*, 2013] KANIS, M., ROBBEN, S., HAGEN, J., BIMMERMAN, A., WAGELAAR, N. et KRÖSE, B. (2013). Sensor monitoring in the home : giving voice to elderly people. In *Pervasive Computing Technologies for Healthcare (PervasiveHealth)*, 2013 7th International Conference on, pages 97–100. IEEE.
- [Kaulio, 1998] KAULIO, M. A. (1998). Customer, consumer and user involvement in product development : A framework and a review of selected methods. *Total Quality Management*, 9(1):141–149.
- [Kinny *et al.*, 1996] KINNY, D., GEORGEFF, M. et RAO, A. (1996). A methodology and modelling technique for systems of bdi agents. *Agents breaking away*, pages 56–71.
- [Kouprie et Visser, 2009] KOUPRIE, M. et VISSER, F. S. (2009). A framework for empathy in design : stepping into and out of the user’s life. *Journal of Engineering Design*, 20(5):437–448.
- [Kreitzberg, 2008] KREITZBERG, C. (2008). The lucid framework. *An Introduction*. Cognetics Corporation. Princeton Junction, New Jersey.

- [Leonard et Rayport, 1997] LEONARD, D. et RAYPORT, J. F. (1997). Spark innovation through empathic design. *Harvard business review*, 75:102–115.
- [Levinson, 1995] LEVINSON, R. (1995). A general programming language for unified planning and control. *Artificial Intelligence*, 76(1):319–375.
- [Levinson, 1997] LEVINSON, R. (1997). The planning and execution assistant and trainer (peat). *The Journal of head trauma rehabilitation*, 12(2):85–91.
- [Lezoray et al., 2010] LEZORAY, J.-B., SEGARRA, M. T., KHAC, A. P., THÉPAUT, A., GILLIOT, J.-M. et BEUGNARD, A. (2010). A design process enabling adaptation and customization of services for the elderly. In *IWAAL-2010 : International Workshop on Ambient Assisted Living*.
- [Lin et al., 2015] LIN, Q., ZHANG, D., CONNELLY, K., NI, H., YU, Z. et ZHOU, X. (2015). Disorientation detection by mining gps trajectories for cognitively-impaired elders. *Pervasive and Mobile Computing*, 19:71–85.
- [Loncle et Rouyer, 2004] LONCLE, P. et ROUYER, A. (2004). La participation des usagers : un enjeu de l'action publique locale. *Revue française des affaires sociales*, (4):133–154.
- [Lunt et Livingstone, 1996] LUNT, P. et LIVINGSTONE, S. (1996). Rethinking the focus group in media and communications research. *Journal of communication*, 46(2):79–98.
- [Ma et LeRouge, 2007] MA, J. et LEROUGE, C. (2007). Introducing user profiles and personas into information systems development. *AMCIS 2007 Proceedings*, page 237.
- [Manning et al., 2003] MANNING, H., TEMKIN, B. et BELANGER, N. (2003). The power of design personas. *Cambridge, MA : Forrester Research*.
- [Massimi et al., 2007] MASSIMI, M., BAECKER, R. M. et WU, M. (2007). Using participatory activities with seniors to critique, build, and evaluate mobile phones. In *Proceedings of the 9th international ACM SIGACCESS conference on Computers and accessibility*, pages 155–162. ACM.
- [McGee-Lennon et al., 2012] MCGEE-LENNON, M., SMEATON, A. et BREWSTER, S. (2012). Designing home care reminder systems : lessons learned through co-design with older users. In *Pervasive Computing Technologies for Healthcare (Pervasive-Health), 2012 6th International Conference on*, pages 49–56. IEEE.
- [Membrado et Rouyer, 2013] MEMBRADO, M. et ROUYER, A. (2013). *Habiter et vieillir*. Eres.
- [Metz, 1978] METZ, C. E. (1978). Basic principles of roc analysis. In *Seminars in nuclear medicine*, volume 8, pages 283–298. Elsevier.
- [Miaskiewicz et Kozar, 2011] MIASKIEWICZ, T. et KOZAR, K. A. (2011). Personas and user-centered design : How can personas benefit product design processes? *Design Studies*, 32(5):417–430.

- [Mihailidis *et al.*, 2004] MIHAILIDIS, A., CARMICHAEL, B. et BOGER, J. (2004). “the use of computer vision in an intelligent environment to support aging-in-place, safety, and independence in the home”. *IEEE Trans. Inf. Technol. Biomed.*, 8(3):238–247.
- [Miori *et al.*, 2006] MIORI, V., TARRINI, L., MANCA, M. et TOLOMEI, G. (2006). An open standard solution for domotic interoperability. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 52(1):97–103.
- [Mitchell, 2006] MITCHELL, T. M. (2006). *The discipline of machine learning*, volume 3. Carnegie Mellon University, School of Computer Science, Machine Learning Department.
- [Mitchell *et al.*, 1997] MITCHELL, T. M. *et al.* (1997). Machine learning. web.
- [Mitzner et Rogers, 2010] MITZNER, T. et ROGERS, W. (2010). Understanding older adults’ limitations and capabilities, and involving them in the design process. In *Extended abstracts of CHI*, volume 10.
- [Mouloudi, 2007] MOULOUDI, A. (2007). *Intégration des besoins des utilisateurs pour la conception de systèmes d’information interactifs. Application à la conception d’un système d’information voyageurs multimodal (SIVM)*. Thèse de doctorat, Université de Technologie de Compiègne.
- [Muller, 2003] MULLER, M. J. (2003). Participatory design : the third space in hci. *Human-computer interaction : Development process*, 4235:165–185.
- [Newell *et al.*, 2007] NEWELL, A., ARNOTT, J., CARMICHAEL, A. et MORGAN, M. (2007). Methodologies for involving older adults in the design process. *Universal Access in Human Computer Interaction. Coping with Diversity*, pages 982–989.
- [Newell et Gregor, 2000] NEWELL, A. F. et GREGOR, P. (2000). “user sensitive inclusive design”—in search of a new paradigm. In *Proceedings on the 2000 conference on Universal Usability*, pages 39–44. ACM.
- [Newell *et al.*, 2011] NEWELL, A. F., GREGOR, P., MORGAN, M., PULLIN, G. et MACAULAY, C. (2011). User-sensitive inclusive design. *Universal Access in the Information Society*, 10(3):235–243.
- [Nielsen et Phillips, 1993] NIELSEN, J. et PHILLIPS, V. L. (1993). Estimating the relative usability of two interfaces : heuristic, formal, and empirical methods compared. In *Proceedings of the INTERACT’93 and CHI’93 conference on Human factors in computing systems*, pages 214–221. ACM.
- [NIGON, 2017] NIGON, J. (2017). *Apprentissage artificiel adapté aux systèmes complexes par auto-organisation coopérative de systèmes multi-agents*. Thèse de doctorat, Université Toulouse 3 Paul sabatier.
- [Norman et Draper, 1986] NORMAN, D. A. et DRAPER, S. W. (1986). User centered system design. *Hillsdale, NJ*, pages 1–2.

- [of Economic et Division, 2013] of ECONOMIC, D. et DIVISION, S. A. P. (2013). World population ageing 2013.
- [Panait et Luke, 2005] PANAIT, L. et LUKE, S. (2005). Cooperative multi-agent learning : The state of the art. *Autonomous agents and multi-agent systems*, 11(3):387–434.
- [Patterson *et al.*, 2004] PATTERSON, D. J., LIAO, L., GAJOS, K., COLLIER, M., LIVIC, N., OLSON, K., WANG, S., FOX, D. et KAUTZ, H. (2004). Opportunity knocks : A system to provide cognitive assistance with transportation services. *In International Conference on Ubiquitous Computing*, pages 433–450. Springer.
- [Peretz, 1998] PERETZ, H. (1998). Les méthodes d’enquête : l’observation. *La Découverte, collection Repères, Paris*.
- [Politechnica University, 2002] POLITECHNICA UNIVERSITY, B. (2002). Agents intelligents.
- [Pollack *et al.*, 2003a] POLLACK, M. E., BROWN, L., COLBRY, D., MCCARTHY, C. E., OROSZ, C., PEINTNER, B., RAMAKRISHNAN, S. et TSAMARDINOS, I. (2003a). Autominder : An intelligent cognitive orthotic system for people with memory impairment. *Robotics and Autonomous Systems*, 44(3):273–282.
- [Pollack *et al.*, 2003b] POLLACK, M. E., L. BROWN, D. C., MCCARTHY, C. E., OROSZ, C., PEINTNER, B., RAMAKRISHNAN, S. et TSAMARDINOS, I. (2003b). “autominder : An intelligent cognitive orthotic system for people with memory impairment,”. *Robot. Auton. Syst.*, 44(3–4):273–282.
- [Pruitt et Adlin, 2006] PRUITT, J. et ADLIN, T. (2006). The persona lifecycle : Keeping people in mind throughout product design (interactive technologies).
- [Ramos *et al.*, 2008] RAMOS, C., AUGUSTO, J. C. et SHAPIRO, D. (2008). Ambient intelligence—the next step for artificial intelligence. *IEEE Intelligent Systems*, 23(2):15–18.
- [Rao *et al.*, 1995] RAO, A. S., GEORGEFF, M. P. *et al.* (1995). Bdi agents : From theory to practice. *In ICMAS*, volume 95, pages 312–319.
- [Rashidi et Cook, 2009] RASHIDI, P. et COOK, D. J. (2009). Keeping the resident in the loop : Adapting the smart home to the user. *IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics-part A : systems and humans*, 39(5):949–959.
- [Rashidi et Mihailidis, 2013] RASHIDI, P. et MIHAILIDIS, A. (2013). A survey on ambient-assisted living tools for older adults. *IEEE journal of biomedical and health informatics*, 17(3):579–590.
- [Rialle, 1996] RIALLE, V. (1996). Ia et sujet humain : entre physis et sémosis. *Intellectica*, 2(23):121–153.

- [Rialle *et al.*, 2009] RIALLE, V., OLLIVET, C., GUIGUI, C. et HERVÉ, C. (2009). What do family caregivers of alzheimer’s disease patients desire in smart home technologies? *arXiv preprint arXiv :0904.0437*.
- [Robinson *et al.*, 2009] ROBINSON, L., BRITAIN, K., LINDSAY, S., JACKSON, D. et OLIVIER, P. (2009). Keeping in touch everyday (kite) project : developing assistive technologies with people with dementia and their carers to promote independence. *International Psychogeriatrics*, 21(03):494–502.
- [Rolland *et al.*, 1998] ROLLAND, C., ACHOUR, C. B., CAUVET, C., RALYTÉ, J., SUTCLIFFE, A., MAIDEN, N., JARKE, M., HAUMER, P., POHL, K., DUBOIS, E. *et al.* (1998). A proposal for a scenario classification framework. *Requirements Engineering*, 3(1):23–47.
- [Rosenberg *et al.*, 2012] ROSENBERG, L., KOTTORP, A. et NYGÅRD, L. (2012). Readiness for technology use with people with dementia the perspectives of significant others. *Journal of Applied Gerontology*, 31(4):510–530.
- [Sadri, 2011] SADRI, F. (2011). Ambient intelligence : A survey. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 43(4):36.
- [Saldanha *et al.*, 2013] SALDANHA, N., AVELAR, J., DIAS, M., TEIXEIRA, A., GONÇALVES, D., BONNET, E., LAN, K., NÉMETH, G., CSOBANKA, P. et KOLESINSKI, A. (2013). A personal life assistant for “natural” social interaction : the paelife project. *In AAL Forum*.
- [Salembier *et al.*, 2009] SALEMBIER, P., DUGDALE, J., FREJUS, M. et HARADJI, Y. (2009). A descriptive model of contextual activities for the design of domestic situations. *In European Conference on Cognitive Ergonomics : Designing beyond the Product—Understanding Activity and User Experience in Ubiquitous Environments*, page 13. VTT Technical Research Centre of Finland.
- [Salinesi, 2010] SALINESI, C. (2010). *L’Ingénierie des Exigences appliquée aux Systèmes d’Information*. Thèse de doctorat, Université Panthéon-Sorbonne-Paris I.
- [Schilit *et al.*, 1994] SCHILIT, B., ADAMS, N. et WANT, R. (1994). Context-aware computing applications. *In Mobile Computing Systems and Applications, 1994. WMCSA 1994. First Workshop on*, pages 85–90. IEEE.
- [Seghrouchni *et al.*, 2010] SEGHROUCHNI, A. E. F., FLOREA, A. M. et OLARU, A. (2010). Multi-agent systems : a paradigm to design ambient intelligent applications. *In Intelligent Distributed Computing IV*, pages 3–9. Springer.
- [Serugendo *et al.*, 2011] SERUGENDO, G. D. M., GLEIZES, M.-P. et KARAGEORGOS, A. (2011). *Self-organising software : From natural to artificial adaptation*. Springer Science & Business Media.

- [Singh *et al.*, 2011] SINGH, D., SARDINA, S., PADGHAM, L. et JAMES, G. (2011). Integrating learning into a bdi agent for environments with changing dynamics. *In International joint conference on artificial intelligence (IJCAI)*, pages 1–6. AAAI Press and IJCAI.
- [Smith, 1980] SMITH, R. G. (1980). The contract net protocol : High-level communication and control in a distributed problem solver. *IEEE Transactions on computers*, (12):1104–1113.
- [Sommerville, 2011] SOMMERVILLE, I. (2011). *Software engineering*. Pearson.
- [Spinuzzi, 2005] SPINUZZI, C. (2005). The methodology of participatory design. *Technical communication*, 52(2):163–174.
- [Spradley, 1980] SPRADLEY, J. (1980). Participant observation. new york : Holt, rinehart and winston. stake, re (1995). the art of case study research. *Thousand Oaks, CA : Sage Publications. Suizzo, MA (2007). Parents goals and values for children : Dimensions of independence and interdependence across four US ethnic groups. Journal of Cross-Cultural Psychology*, 38(4):506–530.
- [Steen *et al.*, 2007] STEEN, M., KUIJT-EVERS, L. et KLOK, J. (2007). Early user involvement in research and design projects—a review of methods and practices. *In 23rd EGOS Colloquium (European Group for Organizational Studies)*, pages 5–7.
- [Tawbi *et al.*, 1998] TAWBI, M., SOUVEYET, C. et ROLLAND, C. (1998). L’ecritoire a tool to support a goal-scenario based approach to requirements engineering. *Information and Software Technology journal*, pages Editor–Martin.
- [Tricot *et al.*, 2003] TRICOT, A., PLÉGAT-SOUTJIS, F., CAMPS, J.-F., AMIEL, A., LUTZ, G. et MORCILLO, A. (2003). Utilité, utilisabilité, acceptabilité : interpréter les relations entre trois dimensions de l’évaluation des eiah. *In Environnements Informatiques pour l’Apprentissage Humain 2003*, pages 391–402. ATIEF ; INRP.
- [Triki et Hanachi, 2017] TRIKI, S. et HANACHI, C. (2017). A self-adaptive system for improving autonomy and public spaces accessibility for elderly. *In KES International Symposium on Agent and Multi-Agent Systems : Technologies and Applications*, pages 53–66. Springer.
- [Triki *et al.*, 2015] TRIKI, S., HANACHI, C., GLEIZES, M.-P., GLIZE, P. et ROUYER, A. (2015). Modelling and simulating collaborative scenarios for designing an assistant ambient system that supports daily activities. *In Computational Collective Intelligence*, pages 191–202. Springer.
- [Turner et Turner, 2011] TURNER, P. et TURNER, S. (2011). Is stereotyping inevitable when designing with personas? *Design studies*, 32(1):30–44.
- [Van Dongen *et al.*, 2005] VAN DONGEN, B. F., de MEDEIROS, A. K. A., VERBEEK, H., WEIJTERS, A. et VAN DER AALST, W. M. (2005). The prom framework : A new era in process mining tool support. *In ICATPN*, volume 3536, pages 444–454. Springer.

- [Virone et Sixsmith, 2008] VIRONE, G. et SIXSMITH, A. (2008). Toward information systems for ambient assisted living. In *The 6th International Conference of the International Society for Gerontechnology, Pisa, Italy*, pages 4–7.
- [Vredenburg et al., 2001] VREDENBURG, K., ISENSEE, S., RIGHI, C. et DESIGN, U.-C. (2001). *An integrated approach*. Prentice Hall Englewood Cliffs.
- [Waldner, 2008] WALDNER, J.-B. (2008). *Nanocomputers and Swarm Intelligence*. Wiley-ISTE.
- [Waldner et Waldner, 2007] WALDNER, J.-B. et WALDNER, J. B. (2007). *Nano-informatique et intelligence ambiante : inventer l'ordinateur du XXIe siècle*. Hermès Science.
- [Wan et al., 2011] WAN, J., BYRNE, C., O'HARE, G. M. et O'GRADY, M. J. (2011). Orange alerts : Lessons from an outdoor case study. In *Pervasive Computing Technologies for Healthcare (PervasiveHealth), 2011 5th International Conference on*, pages 446–451. IEEE.
- [Webb et Ting, 2005] WEBB, G. I. et TING, K. M. (2005). On the application of roc analysis to predict classification performance under varying class distributions. *Machine learning*, 58(1):25–32.
- [Weiser, 1991] WEISER, M. (1991). The computer for the 21st century. *Scientific American*, 265(3):66–75.
- [Weiser, 1994] WEISER, M. (1994). Ubiquitous computing. In *ACM Conference on Computer Science*, page 418.
- [Weiser et al., 1999] WEISER, M., GOLD, R. et BROWN, J. S. (1999). The origins of ubiquitous computing research at parc in the late 1980s. *IBM systems journal*, 38(4): 693–696.
- [Wu et al., 2008] WU, W., AU, L., JORDAN, B., STATHOPOULOS, T., BATALIN, M., KAISER, W., VAHDATPOUR, A., SARRAFZADEH, M., FANG, M. et CHODOSH, J. (2008). The smartcane system : an assistive device for geriatrics. In *Proceedings of the ICST 3rd international conference on Body area networks*, page 2. ICST (Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering).
- [Yamazaki, 2007] YAMAZAKI, T. (2007). The ubiquitous home. *International Journal of Smart Home*, 1(1):17–22.
- [Young et Barnard, 1987] YOUNG, R. M. et BARNARD, P. (1987). *The use of scenarios in human-computer interaction research : Turbocharging the tortoise of cumulative science*, volume 18. ACM.
- [Zheng et al., 2010] ZHENG, V. W., ZHENG, Y., XIE, X. et YANG, Q. (2010). Collaborative location and activity recommendations with gps history data. In *Proceedings of the 19th international conference on World wide web*, pages 1029–1038. ACM.